



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

SKRIPSI – ME141501

**Perancangan dan Perhitungan Waktu Total Proses Produksi
Blade Controllable Pitch Propeller Dengan CNC untuk
Perencanaan Biaya Produksi**

Mohammad Ibnu Sabilillah
NRP. 04211440000123

Dosen Pembimbing
Edi Jadmiko, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

SKRIPSI – ME141501

**Perancangan dan Perhitungan Waktu Total Proses Produksi
Blade Controllable Pitch Propeller Dengan CNC untuk
Perencanaan Biaya Produksi**

Mohammad Ibnu Sabilillah
NRP. 04211440000123

Dosen Pembimbing
Edi Jadmiko, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BACHELOR THESIS – ME141501

**Design and Calculation of Total Production Process *Time* of
Blade Controllable Pitch Propeller With CNC for
Production Cost Planning**

Mohammad Ibnu Sabilillah
NRP. 04211440000123

Supervisor
Edi Jadmiko, S.T., M.T.

**DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Perancangan dan Perhitungan Waktu Total Proses Produksi *Blade Controllable Pitch Propeller* Dengan CNC untuk Perencanaan Biaya Produksi

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi *Marine Manufacturing and Design*(MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MOHAMMAD IBNU SABILILLAH
NRP. 04211440000123

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Edi Jadmiko, S.T., M.T.



SURABAYA
JULI, 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Perancangan dan Perhitungan Waktu Total Proses Produksi *Blade Controllable Pitch Propeller* Dengan CNC untuk Perencanaan Biaya Produksi

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi *Marine Manufacturing and Design*(MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MOHAMMAD IBNU SABILILLAH

NRP. 04211440000123

Disetujui Oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Dr. Eng Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.

NIP. 197708022008011007

SURABAYA

JULI, 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Perancangan dan Perhitungan Waktu Total Proses Produksi *Blade Controllable Pitch Propeller* Dengan CNC untuk Perencanaan Biaya Produksi

Nama Mahasiswa : Mohammad Ibnu Sabilillah
NRP : 04211440000123
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS
Dosen Pembimbing : Edi Jadmiko, S.T., M.T.

ABSTRAK

Semakin majunya teknologi manufaktur membuat persaingan antar produsen produk manufaktur kian meningkat. Kebutuhan akan kualitas produk yang tinggi dengan kecepatan produksi yang tinggi (*high speed manufacturing*) menjadi semakin besar. Optimasi waktu produksi sangatlah dibutuhkan untuk mengurangi durasi pengerjaan. Dengan demikian dapat mengurangi biaya produksi. Mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*) merupakan salah satu penunjang proses produksi benda. Pengerjaan *Blade Controllable Pitch Propeller* juga dapat dilakukan di mesin CNC. Hal ini menjadi inovasi baru di bidang *Marine* untuk pembuatan *Propeller* menggunakan mesin CNC. Semakin meningkatnya persaingan pasar akan kebutuhan produk permesinan seperti *Propeller* membuat produsen bersaing untuk memberikan hasil terbaik bagi produknya, salah satunya dengan mengoptimasikan waktu pengerjaan. Simulasi CNC pada *Software MasterCam* sangat menunjang pengoptimasian waktu pengerjaan dengan pemilihan alur pahat yang menghasilkan durasi paling singkat. Dengan durasi yang singkat maka konsumsi daya listrik untuk proses permesinan juga semakin menurun, hal ini membuat biaya produksi menjadi berkurang.

Kata kunci : CNC, *Blade Controllable Pitch Propeller*, MasterCam, optimasi, *Toolpath*, durasi waktu, biaya produksi

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Design and Calculation of Total Production Process Time of Blade Controllable Pitch Propeller With CNC for Production Cost Planning

Student Name : Mohammad Ibnu Sabilillah
NRP : 04211440000123
Department : Marine Engineering ITS
Supervisor : Edi Jadmiko, S.T., M.T.

ABSTRACT

Increasingly advanced technology makes the competition among manufacturers to increase. The need for high product quality with high production speed becomes greater. Optimization of production Time is needed to reduce the duration of workmanship. Thus can reduce production costs. CNC (Computer Numerically Controlled) machine is one of supporting the production process of the object. Workmanship Blade Controllable Pitch Propeller can also be done in CNC machines. This has become a new innovation in the field of Marine for the manufacture of Propellers using CNC machines. Increasing market competition for the needs of machinery products such as propellers enables manufacturers to compete to deliver the best results for their products, one of which is by optimizing processing Time. CNC simulation on MasterCam Software greatly supports the optimization of the workmanship Time with the selection of chisel grooves that produce the shortest duration. With a short duration of power consumption for the machining process also decreased, this makes the cost of production to be reduced

Keywords: CNC, Blade Controllable Pitch Propeller, MasterCam, optimization, Toolpath, Time duration , production cost

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Perancangan dan Perhitungan Waktu Total Proses Produksi *Blade Controllable Pitch Propeller* Dengan CNC untuk Perencanaan Biaya Produksi”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dari Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan banyak rasa terimakasih kepada:

1. Kedua orangtua terkasih, Bapak Jazuli dan Ibuk Ismiatin, doa mereka membuat penulis mampu melewati segala rintangan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini. Serta kedua saudara penulis Mbak Laylatul dan Mas Sobiri yang selalu mensupport penulis baik rohani maupun materi. Tak lupa juga kakak ipar Mbak Ika dan keponakan-keponakan penulis Liftia dan Riski yang menjadi penyemangat bagi penulis. Dan seluruh keluarga yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.
2. Bapak Edi Jadmiko, ST., MT. selaku dosen pembimbing penulis yang senantiasa memotivasi dan mengarahkan alur pengerjaan Tugas Akhir penulis.
3. Bapak Irfan Syarif Arief, ST., MT. selaku dosen kepala laboratorium yang telah memberikan ide dan selalu memberikan dukungan kepada penulis.
4. Bapak Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc. selaku dosen wali penulis yang selalu memberikan motivasinya kepada penulis.
5. Bapak Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, ST., MT, selaku kepala departemen Teknik sistem perkapalan. Dan juga bapak-bapak dosen yang amat penulis hormati.
6. Pak didik selaku teknisi workshop ilmu bahan dan CNC, Mbak Rochmah selaku teknisi Lab MMS.
7. Rekan senasib Mercusuar'14, dan secara khusus rekan seperjuangan “anak kos” Icol, Raka, Irul dan Ikbar yang senantiasa membantu penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, dan juga selalu memberi semangat saat penulis mulai goyah akan semangatnya. Dan juga teman-teman anggota laboratorium Marine Fluid Machinery and System (MMS) horas, hilmi, bahrul, azizah, barok, pandhu, dayat, sulfia, pemal, ipux, evan, kelik, ari yang telah memberikan berbagai macam dukungan kepada penulis selama proses penelitian berlangsung.
8. Abdi Kurnia Gusti selaku teman sekamar penulis yang selalu membagikan cerita-cerita yang menghibur kepada penulis.
9. Rekan jambret family, Adi, Alam, Ardany, Arip, Fahmi, Gilang, Hanifan, Hyoga, Noval, Reggi, Rio, dan Yayak yang selalu menyempatkan berbagi canda tawa dan hiburan bagi penulis dikala penulis merasa jenuh.

10. Rekan laborototium MMD, Ara, David, Riyan, Memet, Desta, Favi, Sasmita, Rindu, yang telah memberikan dukungan kepada penulis.
11. Bianita Dwi Puspaningtias seorang sosok yang menemani penulis dikala susah maupun senang.
12. Arrijal Yudha selaku partner desain 4 penulis yang membantu kelancaran pengerjaan tugas desain penulis.
13. Yafi, lukman, fia, mego selaku partner satu bimbingan tugas akhir penulis.
14. Wisma mukti squad, selaku lawan badminton yang tangguh bagi penulis.
15. Teman-teman komunitas rubik yang membarikan banyak pengalaman baru kepada penulis.
16. Cak Rom selaku tukang bakso favorit penulis.
17. Seluruh mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan, Bismarck'12, Barakuda'13, Salvage'15, Voyage'16 dan Badrikara'17 yang telah memberikan semangat dan support selama perkuliahan.
18. Teman-teman kontrakan ngapak yang memberikan tempat bagi penulis untuk singgah dan berkreasi.
19. Pihak-pihak yang terlibat dalam penyusunan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat menjadi ilmu yang barokah bagi kita semua dan menjadi pedoman untuk penulisan selanjutnya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Latar Belakang Masalah.....	5
2.2. <i>Controllable Pitch Propeller</i>	6
2.3. <i>Propeller Kaplan</i>	8
2.4. <i>Computer Numerically Controlled (CNC)</i>	9
2.5. <i>CNC 3 Axis (Milling)</i>	10
2.6. Kode G	16
2.7. CAD/CAM	17
2.8. Perhitungan Biaya Produksi	20
2.8.1. Komponen Waktu Produksi	20
2.8.2. Komponen Biaya Produksi.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1. Umum.....	23
3.2. <i>Flowchart</i>	23
3.3. Studi Literatur.....	25
3.4. Persiapan Data dan Identifikasi Benda(Dimensi dan bahan)	25
3.5. Desain Model	26
3.6. Desain Proses Permesinan.....	26
3.7. Penentuan Parameter <i>Tool</i>	26

3.8.	Simulasi Progam.....	26
3.9.	Validasi Progam	26
3.10.	Perhitungan Waktu Total dan Kebutuhan Daya	27
3.11.	Perhitungan Biaya Total Proses Produksi	27
3.12.	Kesimpulan.....	27
	BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	29
4.1.	Desain Model	29
4.2.	Desain Permesinan pada MasterCam	32
4.2.1.	Pemilihan Jenis Permesinan	32
4.2.2.	Pemilihan <i>Toolpath</i>	34
4.2.3.	Pemilihan Pahat	36
4.2.4.	Variasi Alur Pahat	37
4.3.	Penentuan Parameter Permesinan.....	43
4.4.	Simulasi Pengerjaan pada MasterCam	47
4.4.1.	Simulasi Variasi Alur	48
4.4.2.	Analisa Durasi Pengerjaan	52
4.5.	Validasi Pengerjaan.....	61
4.5.1.	Validasi Panjang Lintasan Penyayatan.....	61
4.5.2.	Validasi Waktu Pengerjaan pada MasterCam	66
4.6.	Perhitungan Waktu Total Produksi	70
4.7.	Perhitungan Biaya Total Produksi.....	72
	BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	79
5.1.	Kesimpulan.....	79
5.2.	Saran.....	79
	DAFTAR PUSTAKA	
	LAMPIRAN	
	BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bagian-bagian <i>Controllable Pitch Propeller</i>	6
Gambar 2. 2 <i>Propeller Kaplan</i> tipe <i>Fix</i> Sumber : (http://www.maucour.fr).....	8
Gambar 2. 3 Kontrol Numerik	10
Gambar 2. 4 Gambar skematis mesin frais CNC dan bagian utamanya.....	11
Gambar 2. 5 Mesin frais CNC GSK tanpa <i>magazine</i>	11
Gambar 2. 6 Kaidah Tangan Kanan untuk persumbuan CNC 3 <i>axis</i>	12
Gambar 2. 7 Sistem koordinat mesin frais	13
Gambar 2. 8 Contoh titik komponen yang akan di bor	14
Gambar 2. 9 Koordinat Alat Potong.....	14
Gambar 2. 10 Contoh Klasifikasi ABS	18
Gambar 2. 11 Simulasi MasterCam	19
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Pengerjaan Tugas Akhir.....	24
Gambar 3. 2 <i>Flowchart</i> Pengerjaan Tugas Akhir(lanjutan)	25
Gambar 4. 1 Gambar Pandangan <i>Blade</i> CPP tipe <i>Kaplan</i> diameter 30 cm.....	30
Gambar 4. 2 Geometri <i>Propeller Kaplan</i> tipe CPP D 0,3 meter	31
Gambar 4. 3 Permodelan 3D pada PropCad.....	31
Gambar 4. 4 Permodelan pada Inventor	32
Gambar 4. 5 <i>Machine Group properties</i> untuk pengaturan <i>stock</i>	33
Gambar 4. 6 Penentuan <i>stock</i> pada MasterCam	33
Gambar 4. 7 Pemilihan <i>Toolpath</i>	34
Gambar 4. 8 a. <i>Surface Rough Pocket</i> , b. <i>Surface finish Contour and Blend</i>	35
Gambar 4. 9 Jenis-jenis pahat pada mesin frais	36
Gambar 4. 10 Contoh pemilihan pahat jenis <i>flat Endmill</i>	37
Gambar 4. 11 Jenis-jenis alur lintasan pahat	38
Gambar 4. 12 Simulasi alur lintasan pahat model <i>Zigzag</i>	38
Gambar 4. 13 Simulasi alur lintasan pahat model <i>Constant Overlap Spiral</i>	39
Gambar 4. 14 Simulasi alur lintasan pahat model <i>Parallel Spiral</i>	39
Gambar 4. 15 Simulasi alur lintasan pahat model <i>Parallel Spiral, Clean Corner</i>	40
Gambar 4. 16 Simulasi alur lintasan pahat model <i>Morph Spiral</i>	40
Gambar 4. 17 Simulasi alur lintasan pahat model <i>High Speed</i>	41
Gambar 4. 18 Simulasi alur lintasan pahat model <i>One Way</i>	41
Gambar 4. 19 Simulasi alur lintasan pahat model <i>True Spiral</i>	42
Gambar 4. 20 Contoh alur lintasan pahat pengerjaan <i>Blade</i> CPP model <i>Zigzag</i>	42
Gambar 4. 21 Ilustrasi Parameter Permesinan	44
Gambar 4. 22 Pengerjaan <i>Surface Rough Pocket</i> (<i>TOP Face</i>)	48
Gambar 4. 23 Pengerjaan <i>Surface Finish Contour</i> (<i>TOP Face</i>)	49
Gambar 4. 24 Pengerjaan <i>Surface Finish Blend Contour</i> (<i>TOP Face</i>)	49
Gambar 4. 25 Pengerjaan <i>Contour 2D</i> (<i>TOP Face</i>)	50
Gambar 4. 26 Pengerjaan <i>Surface Rough Pocket</i> (<i>BOTTOM Face</i>)	51
Gambar 4. 27 Pengerjaan <i>Surface Finish Contour</i> (<i>BOTTOM Face</i>)	51
Gambar 4. 28 Pengerjaan <i>Surface Finish Blend</i> (<i>BOTTOM Face</i>)	52
Gambar 4. 29 Analisa hasil durasi pengerjaan <i>contour 2D</i>	52
Gambar 4. 30 Grafik durasi Pengerjaan <i>Surface Rough Pocket (TOP Face)</i>	56
Gambar 4. 31 Grafik durasi Pengerjaan <i>Surface Finish Contour (TOP Face)</i>	57

Gambar 4. 32 Grafik durasi Pengerjaan <i>Surface Finish Blend (TOP Face)</i>	58
Gambar 4. 33 Grafik durasi Pengerjaan <i>Surface Rough Pocket(BOTTOM Face)</i>	58
Gambar 4. 34 Grafik durasi Pengerjaan <i>Surface Finish Contour (BOTTOM Face)</i>	59
Gambar 4. 35 Grafik durasi Pengerjaan <i>Surface Finish Blend (BOTTOM Face)</i>	59
Gambar 4. 36 Simulasi sederhana jalan pahat.....	62
Gambar 4. 37 Gambar koordinat langkah penyayatan tampak depan.....	64
Gambar 4. 38 Gambar koordinat langkah penyayatan tampak atas	64
Gambar 4. 39 panjang simulasi penyayatan.....	65
Gambar 4. 40 Grafik perbandingan Waktu simulasi dengan waktu hasil perhitungan ..	69
Gambar 4. 41 Grafik perbandingan waktu total simulasi dengan perhitungan	69
Gambar 4. 42 <i>Cycle Time</i> simulasi pengerjaan di MasterCam.....	71
Gambar 4. 43 Nilai <i>Unit Horsepower</i> untuk berbagai material pahat.....	74

DAFTAR TABEL

Table 2. 1 Contoh hasil perhitungan pemrograman inkremental dan absolut	15
Table 4. 1 <i>Offsets Table</i> (meter)	30
Tabel 4. 2 Nilai Feed Per Tooth dan <i>Cutting speed</i> untuk pahat carbida	45
Tabel 4. 3 Data pahat <i>endmill</i> diameter 5mm.....	45
Tabel 4. 4 Jenis, diameter, dan material pahat	46
Tabel 4. 5 Kecepatan Putar Spindel masing-masing jenis pahat	47
Tabel 4. 6 <i>Feed Rate</i> untuk tiap-tiap jenis pahat	47
Tabel 4. 7 Kedalaman pamakanan <i>axial</i> dan <i>radial</i>	47
Tabel 4. 8 Hasil Analisa Durasi <i>Toolpath Surface Rough Pocket(TOP Face)</i>	53
Tabel 4. 9 Hasil Analisa Durasi <i>Toolpath Surface Finish Contour (TOP Face)</i>	53
Tabel 4. 10 Hasil Analisa Durasi <i>Toolpath Surface Finish Blend (TOP Face)</i>	54
Tabel 4. 11 Hasil Analisa Durasi <i>Toolpath Contour 2D (TOP Face)</i>	54
Tabel 4. 12 Hasil Analisa Durasi <i>Toolpath Surface Rough Pocket(BOTTOM Face)</i> ...	55
Tabel 4. 13 Hasil Analisa Durasi <i>Toolpath Surface Finish Contour(BOTTOM Face)</i> .	55
Tabel 4. 14 Hasil Analisa Durasi <i>Toolpath Surface Finish Blend(BOTTOM Face)</i>	56
Tabel 4. 15 Total waktu pengerjaan <i>Blade propeller</i> pada MasterCam	60
Tabel 4. 16 kode G simulasi pengerjaan	63
Tabel 4. 17 Panjang simulasi penyayatan pada MasterCam	66
Tabel 4. 18 Perbandingan waktu hitungan dan waktu simulasi	67
Tabel 4. 19 Nilai error antara waktu simulasi dan waktu hitungan	68
Tabel 4. 20 Harga mesin dan peralatan	73
Tabel 4. 21 Data hasil perhitungan HPc HPm dan KWH	75

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi manufaktur yang semakin pesat dan semakin tingginya kompetisi antara produsen produk-produk manufaktur, kebutuhan akan kualitas produk yang tinggi (*high quality product*) yang dihasilkan dengan kecepatan produksi yang tinggi (*high speed manufacturing*) menjadi dasar pemilihan topik penelitian ini. Dimana pada saat ini dalam pengembangan dan perencanaan produk tidak terlepas akan kebutuhan teknologi, dengan kebutuhan yang sangat tinggi maka dikembangkanlah sistem otomasi. Otomasi dapat didefinisikan sebagai teknologi yang berlandaskan pada aplikasi sistem mekanik, elektronik dan komputer, sehingga pekerjaan tahap pengembangan meliputi perencanaan, persiapan, perakitan, instalasi, pemrograman, inspeksi, dan komisioning.

Kesemuanya itu membutuhkan sistem pendukung proses manufaktur yang handal. Salah satu pendukung tersebut adalah mesin CNC. *Computer Numerically Controlled* (CNC) merupakan pengembangan dari perkakas pemesian konvensional yang dikombinasikan dengan media kontrol komputer berupa program sehingga pengerjaannya dapat dilakukan dengan cepat, dan akurat.

Proses pemesinan menggunakan mesin CNC meliputi beberapa tahap diantaranya: tahap desain produk, tahap pembelian material, pemotongan benda kerja, pemasangan benda kerja pada regum mesin, pemasangan pahat, penentuan *zero point tools*, proses pengerjaan *roughing* hingga *finishing*, dan pengerjaan lanjutan.

Untuk pemograman CNC dapat dilakukan dengan berbantuan *Software Computer Aided Design* (CAD) dan *Computer Aided Manufacturing* (CAM) untuk proses desain benda. Hal ini akan mempercepat waktu pengerjaan proses pemesinan sehingga menurunkan biaya produksi.

Biaya produksi merupakan akumulasi biaya yang terjadi saat proses produksi suatu bahan. Biaya produksi dipengaruhi biaya material, proses produksi, dan biaya tak langsung lainnya yang terjadi saat proses produksi. Perhitungan biaya produksi ini digunakan pada bidang industri manufaktur untuk mengetahui biaya sebenarnya dalam pembuatan suatu produk komponen mesin. Dengan mengetahui harga jual produk atau harga penawaran kontak pembuatan sejumlah produk (*subcontract parts*) dapat direncanakan untuk menentukan keuntungan yang akan diperoleh.

Komponen yang erat hubungannya dengan dunia *marine* diantaranya adalah *propeller*. *Propeller* merupakan komponen pada kapal yang berfungsi menggerakkan kapal. Cara kerjanya adalah mengkonversi putaran menjadi gaya dorong (*thrust*). *Controllable Pitch Propeler* (CPP) merupakan suatu jenis *propeller* dimana pada *Blade* atau daun baling-balingnya dapat diatur sudutnya. Sudut daun *propeller* tersebut nantinya disesuaikan dengan kebutuhan kapal.

Fokus dari penelitian ini adalah perhitungan biaya produksi *Blade Controllable Pitch Propeler* model *Kaplan* dengan diameter 300mm menggunakan mesin CNC. Dari penelitian ini dapat diketahui perhitungan total waktu produksi yang paling optimal dan estimasi biaya produksi *Blade Cotrollable Pitch Propeller* tersebut. Dengan mengetahui biaya produksinya maka akan menguntungkan banyak pihak. Dari produsen dapat menentukan laba dan juga estimasi *cost* untuk pengerjaan massal. Untuk konsumen dapat mengetahui estimasi biaya pembuatan sehingga dapat memperhitungkan pertimbangan-pertimbangan lain.

1.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana proses desain *Blade Cotrollable Pitch Propeller* ?
2. Bagaimana proses optimasi siklus jalan pahat untuk perhitungan waktu paling singkat dalam produksi *Blade Cotrollable Pitch Propeller* dengan CNC ?
3. Bagaimana proses perhitungan waktu total produksi *Blade Cotrollable Pitch Propeller* ?
4. Bagaimana proses perhitungan biaya produksi *Blade Cotrollable Pitch Propeller* ?

1.3. Batasan Masalah

Untuk menegaskan dan lebih memfokuskan pengerjaan tugas akhir ini, maka akan dibatasi permasalahan-permasalahan yang akan dibahas sebagai berikut :

1. Hanya merancang pengerjaan produksi untuk *Blade Cotrollable Pitch Propeller* 4 daun tipe *Kaplan* dengan diameter 300mm.
2. Pembuatan *Blade Cotrollable Pitch Propeller* hanya sebatas simulasi pada *Software MasterCam*.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan desain *Blade Cotrollable Pitch Propeller*.
2. Mendapatkan alur lintasan pahat dengan durasi waktu yang paling optimum untuk pengerjaan di mesin CNC.
3. Mendapatkan hasil perhitungan waktu total proses produksi *Blade Cotrollable Pitch Propeller* dengan CNC.
4. Mendapatkan perhitungan estimasi biaya produksi *Blade Cotrollable Pitch Propeller* dengan CNC .

1.5. Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui proses desain *Blade Cotrollable Pitch Propeller* pada *Software MasterCam*.
2. Mengetahui jalur pahat yang paling optimum untuk memproduksi *Blade Cotrollable Pitch Propeller*.
3. Mengetahui total biaya produksi *Blade Cotrollable Pitch Propeller* dengan mesin CNC.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Latar Belakang Masalah

Dari penelitian sebelumnya telah dibahas mengenai pengoptimasian jalan pahat untuk mendapatkan simulasi pemrograman pengerjaan *Blade Controllable Pitch Propeller* dengan waktu yang paling singkat. *Software* yang digunakan yaitu MasterCam dengan *constraint* pengoptimasiannya berupa alur untuk gerakan makan pahat terhadap benda kerja atau jalur pahat yang mana yang membutuhkan waktu paling singkat untuk pemroduksian *Blade Controllable Pitch Propeller*. Waktu pengerjaan atau waktu produksi yaitu jumlah total dari beberapa *Toolpath* yang digunakan dalam pembuatan benda kerja. Sedangkan total waktu *Toolpath* merupakan menu yang disediakan dalam *Software* MasterCam untuk pemilihan jenis pengerjaan sesuai bentuk benda dari benda kerja balok menjadi bentuk seperti desain.

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengoptimasian jalan pahat pemrograman CNC untuk pemroduksian *Blade Controllable Pitch Propeller* dengan menambahkan *constraint* berupa penghitungan parameter permesinan, antara lain:

- a. Jenis material dan diameter pahat, mempengaruhi besarnya *cutting speed*.
- b. *Cutting speed*, mempengaruhi besarnya RPM mesin.
- c. RPM, mempengaruhi besarnya *Feeding*.
- d. *Feeding*, mempengaruhi waktu pengerjaan.

Semua parameter tersebut dihitung untuk mendapatkan optimasi permesinan berupa hasil pengerjaan yang lebih halus, pahat lebih awet dan waktu pengerjaan yang lebih optimal.

Jalur pahat yang dipilih akan berbeda tiap *Toolpath* atau tiap langkah pengerjaan. *Toolpath-Toolpath* tersebut dipilih sesuai jenis pengerjaan dan tipe mesin yang dipakai. Untuk proses produksi *Blade Controllable Pitch Propeller* digunakan mesin tipe *mill* atau frais. Tiap *Toolpath* juga memiliki fungsi yang berbeda apakah untuk pengerjaan 2D atau 3D apakah *roughing* atau *finishing* dan pengerjaan lainnya.

Benda kerja yang akan di proses dalam mesin CNC *milling* adalah *Blade* atau daun dari *propeller* tipe CPP(*Controllable Pitch Propeller*), dengan data utama sebagai berikut :

- Tipe : *Kaplan*
- Jumlah daun : 4 daun

- Material : Aluminium
- Diameter : 300 mm
- Diameter *Blade flange* : 80 mm
- Dimensi benda kerja : 135 x 120 x 85 mm³

Selain untuk mendapatkan optimasi jalan pahat, penelitian ini juga menghitung mengenai total biaya produksi setelah didapat program CNC dengan waktu yang paling singkat.

2.2. *Controllable Pitch Propeller*

Controllable Pitch Propeller adalah merupakan pengembangan dari *fix propeller*. Baling-baling kapal pada *propeller* tipe ini dapat diubah/diatur sudutnya. Sudut ini berpengaruh pada *pitch propeller*-nya, atau yang merupakan jarak searah sumbu *centreline* kapal yang ditempuh oleh *propeller* dalam sekali putaran penuh. Jika dianalogikan *pitch propeller* sama halnya seperti ulir pada mur dan baut. Jika mur diputar 360°, maka akan terjadi pergeseran mur sejauh 1x *pitch*.

Pada dasarnya *propeller* memiliki 2 tipe, yaitu tipe *fix* dan tipe kontrol. Dengan memakai *fix propeller*, daya tidak akan dapat dimanfaatkan seluruhnya oleh kapal pada beberapa kondisi beban. Masalah ini dapat diatasi dengan memakai baling-baling yang daunnya dapat dikontrol sudutnya, yang disebut *Controllable Pitch Propeller* atau disingkat CPP. Dengan memakai *propulsor* tipe ini maka efisiensi daya mesin akan meningkat karena dapat gaya dorong dari baling-baling dapat diserap dengan maksimal, sekalipun dalam kondisi beban *propeller* yang berbeda-beda. Misalnya saat kapal dalam kondisi menarik, bergerak bebas, memecah es, atau berubahnya kondisi badan kapal, cuaca, dan kedalaman air.



Gambar 2. 1 Bagian-bagian *Controllable Pitch Propeller*

Sumber : (www.Krugerpropeller.com)

Komponen dari CPP (gambar 2.1) adalah *hub propeller* dan daunnya, poros dengan kotak penyalur minyak pelumas, sistem hidrolis dengan tangki minyak dan pompa, dan sistem kontrol dari jarak jauh. Ruang kendali utama *propeller* jenis ini berada di ruang navigasi kapal. Desain dari mekanisme yang ada di dalam *hub propeller* pada umumnya bervariasi antar masing-masing pabrik pembuat CPP.

Secara umum daun *propeller* dirancang berdasarkan peraturan yang diberikan oleh organisasi standar dan menurut teori hidrodinamika umum. Daun *propeller* pada CPP dibuat dengan menambahkan *flange* agar dapat dirakit menjadi satu dengan *hub propeller*-nya. Dengan *flange* yang besar demikian itu maka akan dapat dirancang pangkal daun yang kuat tanpa memakai rasio tebal daun yang berlebihan. Hub *propeller* jenis ini sedikit lebih besar dibandingkan dengan hub pada FPP. Ini berarti bahwa efisiensi *propeller* kendali daun sedikit lebih rendah daripada efisiensi *propeller* biasa. Namun *propeller* tipe CPP dikenal sangat memuaskan dipakai untuk bisa memenuhi kecepatan yang tinggi dalam kondisi bergerak bebas dan gayaambat yang besar dalam kondisi menarik atau dalam uji tarik tambat.

Adapun keuntungan dan kerugian pemakaian *propeller* jenis CPP adalah sebagai berikut.

Keuntungan menggunakan CPP :

- Memungkinkan pengoperasian mesin utama yang efisien dan minimalisasi konsumsi bahan bakar.
- Operasi yang efisien, performa pemberhentian yang tinggi, dan waktu yang lebih singkat saat meninggalkan dermaga atau saat *docking* karena pergerakan terus menerus dari maju ke depan hingga putaran balik penuh.
- Mengurangi konsumsi bahan bakar dengan cara pengoperasian pada titik efisiensi optimum dimana efisiensi propulsi, konsumsi bahan bakar mesin utama, dan faktor lainnya dipertimbangkan secara komprehensif.
- Memungkinkan kecepatan kapal yang dibutuhkan atau *thrust* akan diperoleh, bahkan pada kapal dimana kondisi beban sangat bervariasi seperti kapal trawl dan kapal derek.
- Menghindari kondisi *over-torsi* pada mesin utama dengan mengurangi sudut kemiringan baling-baling saat beroperasi dalam cuaca buruk.

Kerugian menggunakan *Controllable Pitch Propeller*, yaitu :

1. Konstruksi CPP cukup rumit.
2. Harganya relatif tinggi.
3. Memerlukan lebih banyak perhatian dalam hal perawatan daripada *propeller* biasa. Hal tersebut disebabkan oleh rumitnya konstruksi *hub* dan adanya sistem hidrolis.

Secara umum, dalam perancangan awal, karakteristik CPP dapat diperkirakan dengan memakai diagram dari seri *propeller* pada umumnya seperti BP-8 diagram.

2.3. *Propeller Kaplan*

Propeller atau turbin *Kaplan* pada awalnya adalah turbin air dengan baling-baling yang telah disesuaikan. Baling-baling jenis ini dikembangkan pada tahun 1913 oleh Proffesor Austria Viktor Kaplan, yang dikombinasikan dengan *Blade* baling-baling yang otomatis disesuaikan untuk mencapai efisiensi melalui berbagai aliran dan tingkat air.

Turbin *Kaplan* merupakan evolusi dari turbin Francis. Penemuannya memungkinkan produksi daya yang efisien dalam aplikasi *head* yang rendah yang tidak mungkin dicapai dengan turbin Francis. Head tersebut berkisar antara 10–70 meter dan output daya berkisar 5 hingga 200 MW. Diameter runner antara 2 dan 11 meter.



Gambar 2. 2 *Propeller Kaplan tipe Fix*

Sumber : (<http://www.maucour.fr>)

Propeller Kaplan dirancang khusus untuk kapal trawl, *pusher*(tug), dan semua kapal di mana terdapat nozel untuk memberikan dorongan yang lebih besar dari "*open water*" *Propeller*. Baling-baling jenis ini meningkatkan *thrust* dari 25 hingga 35% pada trawl. Nozel dapat terbuat dari baja atau epoxy tergantung dari jenis lambung dan sertifikasi caa: Veritas, *Germanischer Lloyds*, DNV, ABS dan lainnya.

2.4. *Computer Numerically Controlled (CNC)*

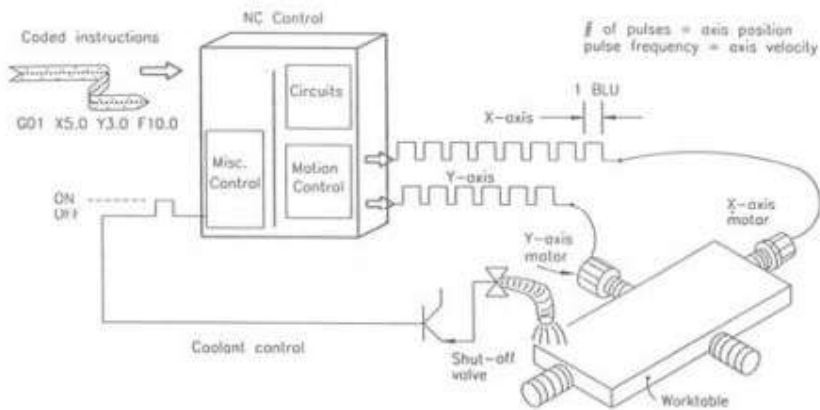
Computer Numerically Controlled, disingkat CNC, merupakan sistem otomasi mesin perkakas yang dioperasikan oleh perintah yang diprogram secara abstrak dan disimpan di media penyimpanan, hal ini berlawanan dengan kebiasaan sebelumnya di mana mesin perkakas biasanya dikontrol dengan putaran tangan atau otomasi sederhana menggunakan CAM. Kata NC sendiri adalah singkatan dalam bahasa Inggris dari kata *Numerical Control* yang artinya "kontrol numerik". Mesin NC pertama diciptakan pertama kali pada tahun 1940-an dan 1950-an, dengan memodifikasi mesin perkakas biasa. Dalam hal ini mesin perkakas biasa ditambahkan dengan motor yang akan menggerakkan pengontrol mengikuti titik-titik yang dimasukan kedalam sistem oleh perekam kertas. Mesin perpaduan antara servo motor dan mekanis ini segera digantikan dengan sistem analog dan kemudian komputer digital, menciptakan Mesin perkakas modern yang disebut Mesin CNC yang dikemudian hari telah merevolusi proses desain. Saat ini mesin CNC mempunyai hubungan yang sangat erat dengan program CAD. Mesin-mesin CNC dibangun untuk menjawab tantangan di dunia manufaktur modern. Dengan mesin CNC, ketelitian suatu produk dapat dijamin hingga 1/100 mm lebih, pengerjaan produk massal dengan hasil yang sama persis dan waktu permesinan yang cepat. (Amrullah, 2010)

Numeric Control (NC) adalah suatu kendali mesin atas dasar informasi digital, ini diperkenalkan di area pabrikasi. NC adalah bermanfaat untuk produksi rendah dan medium yang memvariasikan produksi item, di mana bentuk, dimensi, rute proses, dan pengerjaan dengan mesin bervariasi. Mesin perkakas NC meliputi mesin dengan operasi tujuan tunggal, yang memberikan informasi kuantitatif seperti pengerjaan dengan mesin operasi yang disajikan oleh suatu komputer kendali dengan program *database* yang menyimpan instruksi secara langsung untuk mengendalikan alat – alat bermesin CNC. Kode data diubah untuk satu rangkaian perintah, yang mana servo mekanisme, seperti suatu pijakan motor yang berputar sesuai jumlah yang telah ditetapkan, memperbaiki dengan masing-masing mengemudi dari suatu meja pekerjaan dan suatu alat untuk melaksanakan suatu pengerjaan dengan mesin dan gerakan yang ditetapkan oleh suatu sistem pengulangan tertutup atau terbuka. CNC yang dikendalikan dapat melakukan pekerjaan berbentuk linier, lingkaran, atau sisipan berbentuk parabola, yang mana buatan perangkat lunak, dan manapun sisipan kaleng rutin terpilih dengan mudah.

Prinsip kerja NC/CNC secara sederhana dapat diuraikan sebagai berikut:

- 1) Pemrogram membuat program CNC sesuai produk yang akan dibuat dengan cara pengetikan langsung pada mesin CNC maupun dibuat pada komputer dengan perangkat lunak pemrograman CNC.
- 2) Program CNC tersebut, lebih dikenal sebagai *G-Code*, seterusnya dikirim dan dieksekusi oleh prosesor pada mesin CNC menghasilkan pengaturan motor servo pada mesin untuk menggerakkan perkakas yang bergerak

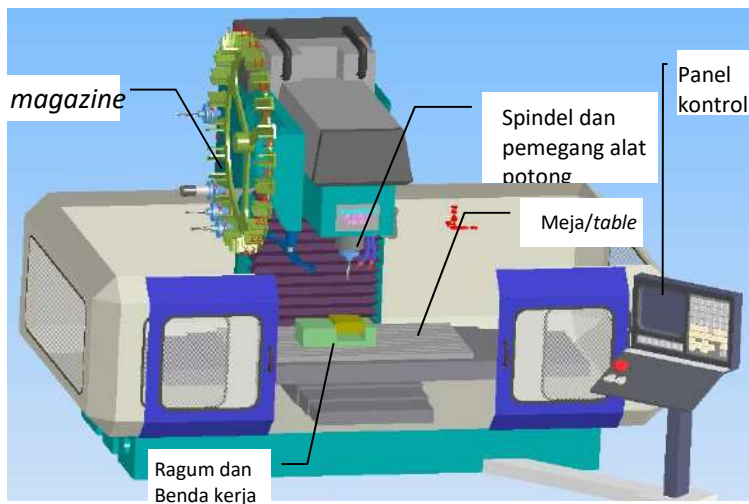
melakukan proses permesinan hingga menghasilkan produk sesuai program. (Amrullah, 2010)



Gambar 2. 3 Kontrol Numerik
Sumber : (pdf UNTAR Teknologi CNC)

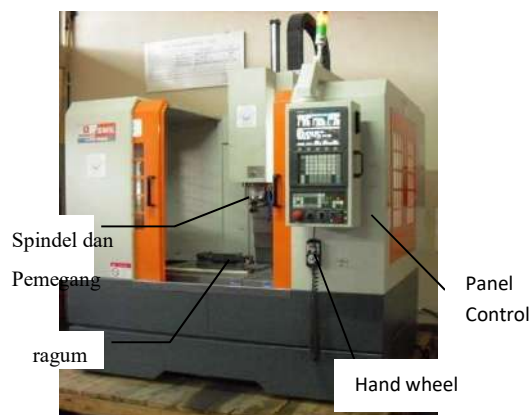
2.5. CNC 3 Axis (Milling)

Mesin Frais CNC pada dasarnya memiliki bagian-bagian utama yang sama dengan mesin frais konvensional (manual). Bagian utama mesin frais adalah meja mesin untuk menempatkan pemegang benda kerja, spindel, pemegang alat potong, *magazine* atau bagian pemegang pahat dan panel kontrol. Gambar skematis mesin frais CNC adalah seperti gambar 2.4 berikut.



Gambar 2. 4 Gambar skematis mesin frais CNC dan bagian utamanya

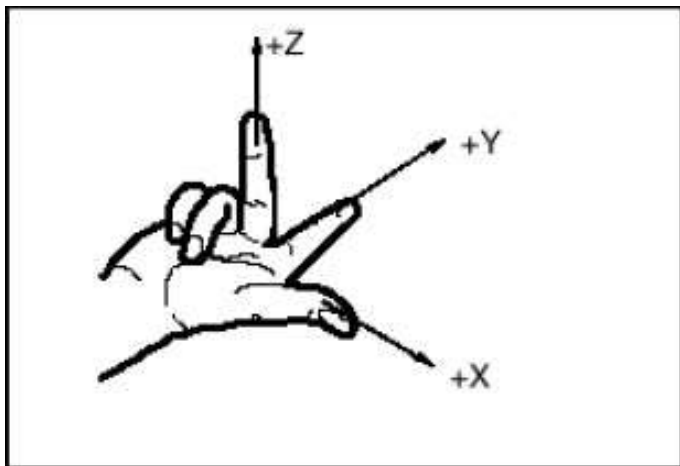
Meja mesin frais berfungsi untuk meletakkan pemegang benda kerja. Spindel adalah sumbu utama mesin frais yang digunakan untuk menempatkan pemegang alat potong. Panel kontrol berfungsi sebagai pusat pengontrolan gerakan alat potong mesin frais, gerakan meja mesin frais, serta pengaturan arah dan jumlah putaran spindel. Mesin frais CNC memungkinkan penggunaan alat potong lebih dari satu buah dan penggantian alat potong secara otomatis, sehingga alat potong yang akan digunakan ditempatkan di *magazine*. Beberapa Mesin frais CNC tidak dilengkapi dengan *magazine*, sehingga penggantian alat potong dilakukan dengan manual. Beberapa mesin frais CNC dilengkapi dengan *hand wheel* yang digunakan untuk menggerakkan alat potong pada mode manual. Gambar mesin frais CNC tanpa *magazine* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Mesin frais CNC GSK tanpa *magazine*

2.5.1. Sistem Koordinat

Mesin perkakas CNC adalah mesin perkakas yang dalam pengoperasian proses pemotongan benda kerja oleh alat potong dibantu dengan kontrol numerik berbasis komputer. Untuk menggerakkan alat potong pada mesin perkakas CNC digunakan sistem koordinat. Sistem koordinat yang digunakan pada mesin perkakas CNC adalah sistem koordinat segi empat (*rectangular coordinate systems*) dengan aturan tangan kanan seperti terlihat pada Gambar 2.6. Sumbu koordinat yang digunakan ialah sumbu X, sumbu Y dan sumbu Z. Sistem koordinat ini berfungsi untuk mendeskripsikan gerakan pada mesin sebagai gerakan relatif antara benda kerja dan alat potong.



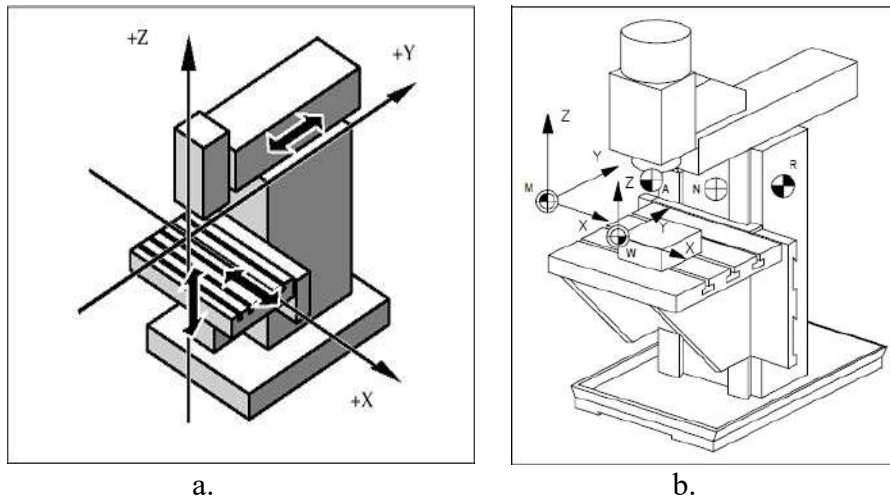
Gambar 2. 6 Kaidah Tangan Kanan untuk persumbuan CNC 3 axis

Sumber : (pdf UNTAR Teknologi CNC)

Pada mesin frais CNC sistem koordinat tersebut diterapkan untuk sistem koordinat mesin (MCS= *Machine Coordinate System*) dan sistem koordinat benda kerja (WCS= *Workpiece Coordinate System*). Sistem koordinat mesin yang diberi simbol M adalah orientasi dari sistem koordinat pada mesin frais CNC. Titik nol (0,0,0) dari sistem koordinat ini dinamakan titik nol mesin (M). Titik nol mesin digunakan sebagai titik referensi, sehingga semua sumbu koordinat titik nolnya di sini. Sistem koordinat tersebut bisa dipindah-pindah titik nolnya untuk kepentingan pelaksanaan seting, pembuatan program CNC dan gerakan alat potong.

Sistem koordinat benda kerja diberi simbol W, adalah sistem koordinat yang digunakan untuk mendeskripsikan geometri dari benda kerja. Titik nol benda kerja dapat secara bebas dipindahkan oleh pembuat program CNC. Pembuat program CNC menggunakan sistem koordinat benda kerja untuk memerintah gerakan alat potong. Arah gerakan alat potong dibuat pada program CNC dengan asumsi bahwa pada waktu

proses pemotongan alat potong yang bergerak, bukan benda kerjanya. Posisi M dan W dapat dilihat pada Gambar 2.7b.



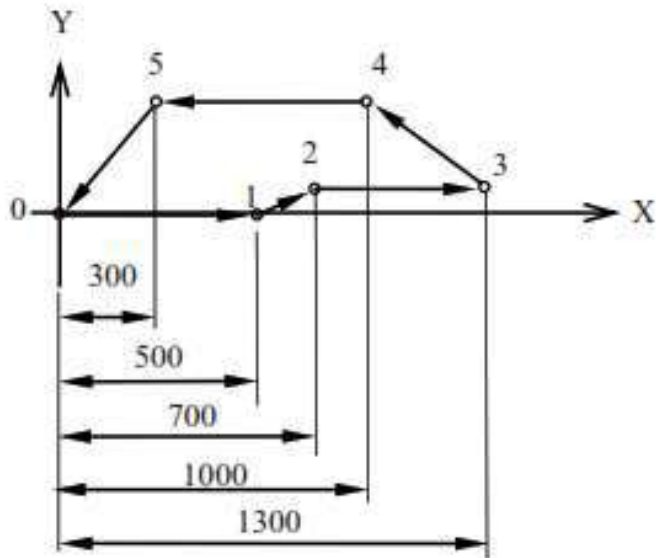
Gambar 2. 7 Sistem koordinat mesin frais

a. Sistem koordinat sumbu pada mesin frais CNC, b. Koordinat titik nol benda dan mesin

2.5.2. Dasar-dasar Pemrograman

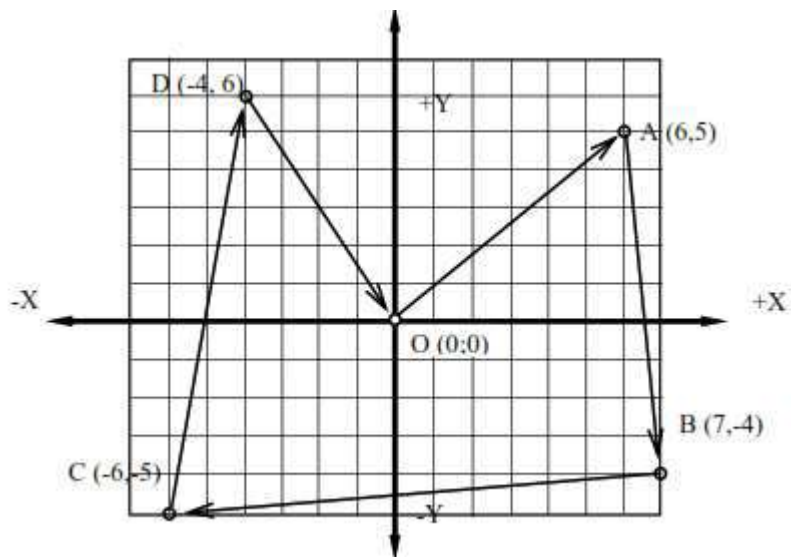
Untuk sistem CNC dapat dibagi ke dalam dua macam pemrograman, yakni inkremental dan absolut. Dalam penerapannya, kedua sistem ini dapat dikombinasikan, satu dengan lainnya. Sistem inkremental adalah sistem di mana titik referensi terhadap instruksi berikutnya adalah dari titik akhir operasi terdahulu. Setiap bagian data dimensional diaplikasikan terhadap sistem sebagai jarak inkremen, diukur dari titik terdahulu pada sumbu gerak yang aktif. Sistem CNC absolut adalah sistem di mana semua perintah gerakan di dasarkan pada satu titik referensi, di mana titik awalnya disebut dengan titik nol (*datum point*). Perintah posisi diberikan sebagai jarak absolut dari titik nol tersebut. Titik nol dapat ditetapkan sebagai suatu titik di luar benda kerja atau pada sudut benda kerja. Apabila sebuah alat bantu pemasangan digunakan, maka akan lebih tepat untuk menetapkan suatu titik pada alat bantu tersebut sebagai titik nol.

Sebagai suatu contoh, perhatikan Gambar 2.8, di mana sebanyak lima buah lubang akan digurdi/dibor. Jarak dari titik nol ke masing masing lubang ditunjukkan pada gambar.



Gambar 2. 8 Contoh titik komponen yang akan di bor

Jika ditunjukkan dalam sistem koordinat dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Koordinat Alat Potong

Dari gambar 2.9 didapatkan perhitungan inkremental dan absolutnya dapat dilihat pada tabel 1.

Table 2. 1 Contoh hasil perhitungan pemrograman inkremental dan absolut

Inkremental:			Absolut:		
Lintasan	X	Y	Lintasan	X	Y
0 A	600	500	0 A	600	500
A B	100	-900	A B	700	-400
B C	-1300	-100	B C	-600	-500
C D	200	1100	C D	-400	600
D 0	400	-600	D 0	0	0

Keuntungan sistem absolut

1. Dalam hal terjadinya gangguan yang memaksa operator untuk menghentikan mesin, misalnya gangguan karena alat potong patah. Dalam hal terjadi gangguan, meja mesin harus digerakkan secara manual, lalu mengganti alat-potong, kemudian menyetel alat-potong, mengembalikan nomor blok program aktif ke blok terjadinya gangguan, mengembalikan alat- potong ke posisi terjadinya gangguan, baru mengaktifkan mesin. Dengan sistem absolut, alat potong akan kembali secara otomatis ke posisi terjadinya gangguan, karena alat-potong akan bergerak sesuai dengan koordinat absolut yang diaktifkan, dan melanjutkan proses pemesinan mulai dari titik yang diinginkan.
2. kemungkinan penggantian data terprogram dengan mudah, kapan saja dikehendaki. Karena jarak berpedoman pada suatu titik referensi, maka modifikasi atau penambahan instruksi posisi tidak akan mempengaruhi program komponen lainnya. Sementara dengan sistem inkremental, komponen harus diprogram kembali mulai dari program yang dimodifikasi atau yang ditambahkan.

Keuntungan sistem inkremental :

1. Jika pemrograman manual digunakan, dengan sistem inkremental, pemeriksaan program sebelum diketikkan ke pita berlubang lebih mudah. Oleh karena titik akhir, ketika pemesinan komponen, sama dengan titik awal, jumlah semua perintah posisi (terpisah untuk setiap sumbu) harus sama dengan nol.

2. Performa sistem inkremental dapat diperiksa dengan pita *loop*-tertutup. Ini merupakan diagnosa pita berlubang yang menguji beberapa operasi dan performan mesin. Perintah posisi terakhir pada pita akan mengakibatkan meja kembali ke posisi awal. Kembalinya meja ke posisi awalnya merupakan pengujian yang cukup untuk operasi perlengkapan yang normal. Pengujian ini diadakan paling tidak sekali sehari. Pengujian yang sama tidak dapat dilakukan untuk sistem pemrograman absolut.
3. Pemrograman *mirror-image* akan lebih mudah dengan sistem inkremental. Dalam pempabrian, *mirror-image* berkaitan dengan geometri simetris bahan pada satu atau dua sumbu. Dalam hal ini, dengan pemrograman inkremental, sinyal yang berkaitan dengan perintah posisi cukup diganti dari tanda + menjadi tanda -. Tidak ada perhitungan baru yang diperlukan untuk posisi tersebut. Prosedur demikian di dalam sistem absolut memerlukan suatu pilihan variabel dari titik nol yang kurang praktis, dan oleh karena itu pemrograman penuh dari komponen diperlukan.

2.5.3. Program untuk mesin Frais CNC

Agar dapat menulis program CNC dan memahami apa yang ditulis, maka berikut ini dipaparkan mengenai dasar-dasar pemrograman CNC dan kode-kode instruksi pemrograman CNC. Hal ini harus dipahami lebih dahulu sebagai dasar pemahaman penulisan program CNC. Struktur program CNC untuk mesin frais sama dengan struktur program mesin bubut CNC pada sub bab sebelumnya.

Kode-kode instruksi untuk pembuatan program CNC (Kode G, M, F, T, D, S, LCYC) yang sering digunakan di sini akan dijelaskan sesuai urutan penggunaan kode yang digunakan dalam suatu program CNC pada mesin frais CNC. Kode program atau instruksi untuk pemrograman CNC dibagi dalam dua kelompok yaitu modal dan non modal. Kode program modal berarti kode program tersebut tetap aktif sampai dengan dibatalkan oleh kode program dari kelompok yang sama, misalnya G0 tetap aktif sampai blok program berikutnya dan akan dibatalkan oleh G1, G2, atau G3 di blok program berikutnya. Penjelasan dan gambar yang digunakan diambil dari buku Referensi yang dibuat oleh perusahaan Siemens.

2.6. Kode G

Kode G atau kode persiapan atau fungsi, adalah fungsi dalam Bahasa pemrograman control numerik. Kode G ini merupakan kode posisi alat dan pekerjaan yang sebenarnya dilakukan, sebagai lawan dari M-code, yang mengelola mesin, T untuk kode alat (*tool*). S dan F adalah kode untuk putaran spindel (RPM) dan *feeding* atau gerak makan dengan satuan mm/menit.

Kode G merupakan kode pemrograman khusus untuk mesin CNC. Fungsi-fungsi pengerjaan mesin di baca dalam kode G tersebut.

2.7. CAD/CAM

CAD/CAM merupakan program permesinan yang sangat efektif untuk proses pembentukan, dimana bentuk-bentuk yang tidak dapat diproses dengan mesin konvensional maka dengan menggunakan proses CAD/CAM tidak lagi mendapat kesulitan. *Product life cycle* yang makin singkat menuntut waktu pengembangan produk dan waktu produksi yang cepat. Keterkaitan berbagai parameter yang rumit dan saling berinteraksi dapat diselesaikan dengan cepat. Di dunia industri saat ini, fungsi CAD sangat vital. Dengan CAD kesalahan dalam proses pembuatan desain bisa diminimalkan, yang berarti waktu dan biaya dapat sangat dioptimalkan.

Computer aided manufacturing (CAM) adalah penggunaan *Software* komputer untuk mengontrol *tools* mesin ataupun bagian mesin lainnya yang berhubungan dengan proses permesinan. Definisi lain dari CAM juga berarti penggunaan komputer yang berfungsi untuk membantu dalam semua perencanaan manufaktur, termasuk didalamnya perencanaan, manajemen, transportasi dan penyimpanan. Integrasi CAM dengan sistem CAD menghasilkan proses manufaktur yang lebih cepat dan lebih efisien. Digunakanlah mesin CNC untuk melakukan proses permesinan dan perancangan. Di banyak kasus sistem CAM akan bekerja dengan perancangan CAD yang dibuat di lingkungan 3 dimensi. *Programmer* CNC akan menentukan operasi mesin dan sistem CAM yang akan membuat program CNC. Kompatibilitas sistem CAD/CAM dibatasi untuk kebutuhan pengenalan kembali konfigurasi bidang kerja bagi sistem CAM. Dengan kata lain perangkat lunak CAM biasanya terdapat bersama dengan mesin CNC. (I G.N.K. Yudhyadi, 2016)

Sebagai *Software* CAD, Inventor dipercaya sebagai perangkat lunak untuk membantu proses desain suatu benda atau bangunan dengan mudah. Keunggulan Inventor dari *Software* CAD lain adalah mampu menyediakan sketsa 2D yang dapat di-*upgrade* menjadi bentuk 3D. *Software* ini juga dapat melakukan simulasi pada desain yang telah buat. Analisa kekuatan desain juga dapat dilakukan secara sederhana dengan Inventor dan dapat membuat desain animasi menggunakan fitur yang telah disediakan Inventor.

Selain Inventor untuk pembuatan model juga menggunakan perangkat lunak berbasis CAD yaitu PropCad. PropCad adalah perangkat lunak untuk pemodelan geometrik *propeller* (pada kapal). *Software* ini menyediakan alat untuk persiapan otomatis gambar desain 2D, tampilan 3D, data konstruksi, perhitungan properti geometris, dan ekspor file CAD/CAM. PropCad dapat

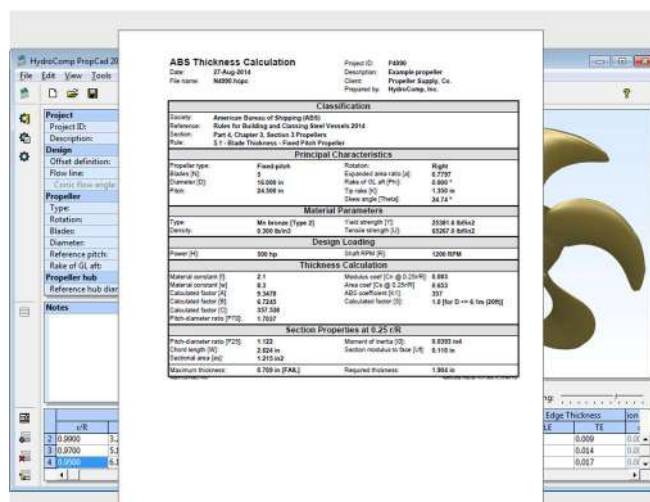
digunakan untuk : manufaktur *propeller*, peneliti hidrodinamik, desainer *propeller*, pabrik(pembuat) *propeller* dan vendor.

Fitur-fitur pada PropCad antara lain :

- Perancang geometrik terintegrasi
- Gambar desain 2D
- Beberapa tampilan 3D dan grafik
- *Design wizards* untuk pengembangan cepat
- Dapat dibuat dari data *Blade* yang ada
- Menyupport berbagai kostum geometri
- Kalkulasi *Classification thickness*
- Berat dan sifat inersia
- *Output* data konstruksi
- Ekspor data CAD/CAM

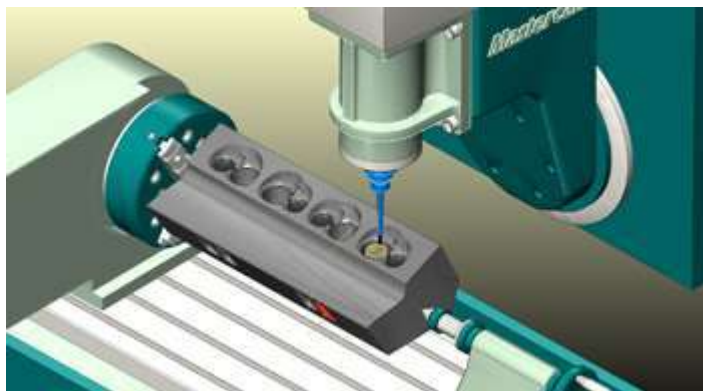
PropCad dapat menganalisis kekuatan dan material desain menggunakan aturan Klasifikasi. PropCad dapat mengotomatisasi perhitungan ketebalan untuk *fix pitch*, *controllable pitch*, dan *nozzle propeller*. Klasifikasi yang didukung antara lain:

- ABS – American Bureau of Shipping
- BV – Bureau Veritas
- RINA – Registro Italiano Navale
- LR – Llyod's Register (UK)
- KR – Korean Register
- CCS – Chinese Classification Society
- NK – Nippon Kaiji Kyokai (Japan)
- Baltic – Swedish/Finish Rules



Gambar 2. 10 Contoh Klasifikasi ABS

MasterCam dipercaya dapat digunakan untuk perancangan model dengan basis CAM. MasterCam merupakan *Software* yang digunakan untuk menggambarkan atau merencanakan proses permesinan secara virtual melalui layar komputer. Hasil perencanaan proses permesinan tersebut selanjutnya digunakan sebagai pedoman pada pemrograman mesin *Computer Numerical Controlled* (CNC). MasterCam dikembangkan di Massachusetts pada tahun 1983. Perusahaan yang mengembangkan MasterCam adalah CNC *Software, Inc.* yang merupakan salah satu dari beberapa pengembang *Software* PC berbasis *Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing* tertua. CNC *Software, Inc.* sekarang ini berlokasi di Tolland, Connecticut. Saat ini MasterCam berkembang luas dan sering digunakan baik di dunia industri maupun dunia pendidikan.



Gambar 2. 11 Simulasi MasterCam
Sumber : (MasterCam Help)

MasterCam mendukung berbagai macam jenis mesin. Berikut produk-produk dari MasterCam:

- **Design**, untuk membuat bentuk 3D wireframe, pengukuran, serta *importing* dan *exporting* file-file CAD non-MasterCam seperti AutoCAD, SolidWorks, Solid Edge, Inventor, Parasolid, dll.
- **Mill**, untuk pengerjaan frais. Pengerjaan frais yang dapat dilakukan seperti *pocketing*, kontur, pengeboran, dll. Pengefraisan dapat dilakukan hingga lima sumbu.
- **Lathe**, untuk pengerjaan bubut.
- **Wire**, untuk membuat *wirepath* baik 2-sumbu maupun 4-sumbu.
- **Art**, untuk merancang desain 3D dengan cepat serta mampu mengonversi 2D *artwork* menjadi bentuk yang *machinable* (mampu dikerjakan dengan permesinan).
- **Router**

2.8. Perhitungan Biaya Produksi

Parameter perhitungan biaya Produksi Menggunakan mesin CNC antara lain :

2.8.1. Komponen Waktu Produksi

1. Variabel proses

- Waktu pemasangan benda kerja(t_a)

Perhitungan waktu pemasangan benda kerja dapat diestimasi.

- Waktu penentuan *Zero Point Tools*(t_b)

Titik acuan/titik nol benda kerja menjadi dasar untuk proses pengerjaan pada mesin CNC. Titik nol tiap jenis mata pahatpun berbeda-beda.

- Waktu pemotongan(t_c)

Waktu pemotongan didapat dari hasil simulasi tiap sub-blok program yang telah di validasi.

- Waktu pergantian pahat(t_i)

Yaitu waktu penggantian pahat yang dibagi rata untuk sejumlah produk yang dihasilkan sejak pahat yang baru dipasang sampai pahat tersebut harus diganti karena aus.

2. Komponen waktu bebas(t_s)

Komponen waktu bebas merupakan waktu non produktif saat pengerjaan benda.

3. Waktu permesinan rata-rata(t_m)

Merupakan jumlah waktu dari komponen waktu pemotongan, penggantian pahat dan waktu bebas. Dengan demikian dapat diperoleh rumus untuk menghitung Waktu permesinan rata-rata sebagai berikut :

$$t_m = t_a + t_b + t_c + t_i + t_s \dots \dots \dots (2-1)$$

2.8.2. Komponen Biaya Produksi

1. Biaya Material (Bahan Dasar)

Biaya yang dikerluarkan untuk pembelian material/bahan dasar benda kerja.

2. Biaya Proses dalam suatu Urutan Produksi

Biaya produksi (suatu proses di antara beberapa urutan proses yang erat berkesinambungan) dapat diperinci menjadi biaya

penyiapan dan peralatan (*special tooling, fixture*), biaya pemrosesan/pemesinan (*processing cost*), dan biaya bahan habis (*consumable/cutters/tools cost*). Untuk menghitung biaya proses atau biaya tetap pertahun menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_f = C_{ob} \left\{ \frac{1}{y} + \frac{y+1}{2y} I_{pti} \right\} \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana : C_f = Biaya tetap pertahun
 C_{ob} = harga peralatan mesin
 y = waktu penyusutan
 I_{pti} = Bunga-pajak-asuransi

3. Biaya Pemesinan (Pemrosesan)

Biaya proses pemesinan dihitung berdasarkan waktu pemesinan rata-rata per produk dan biaya operasi (per satuan waktu; menit)

4. Biaya Operasi

Biaya operasi persatuan waktu (menit) bagi suatu kesatuan produksi dapat dihitung berdasarkan biaya yang membentuknya dalam suatu periode dibagi dengan jumlah menit kerja efektif per tahun. Biaya operasi per tahun merupakan gabungan dari biaya tetap dan biaya variabel yang selanjutnya dapat dikelompokkan sebagai biaya langsung dan biaya tak langsung.

5. Biaya produksi

Komponen biaya yang dihitung :

$$C_u = C_m + C_o \dots\dots\dots (2-3)$$

Dimana,

C_u = Biaya produksi
 C_m = Biaya material
 C_o = Biaya Operasi Mesin

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

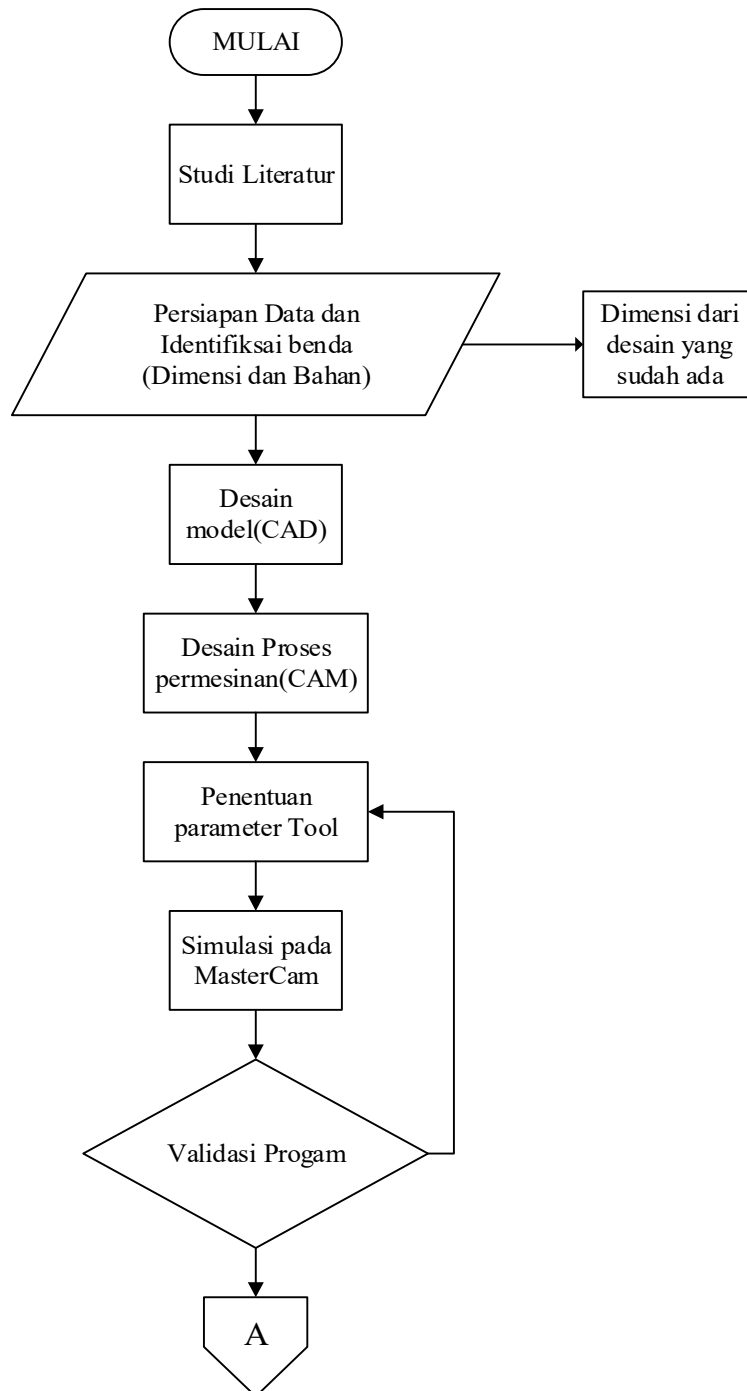
3.1. Umum

Dalam pembuatan skripsi ini, tentu saja memerlukan proses yang harus terstruktur. Hal tersebut haruslah ada agar kedepannya dalam pengerjaan akan terasa lebih terarah dan lebih mudah. Dalam metodologi penelitian ini, akan diuraikan tahap demi tahap yang akan dilakukan dalam pengerjaan skripsi ini nantinya.

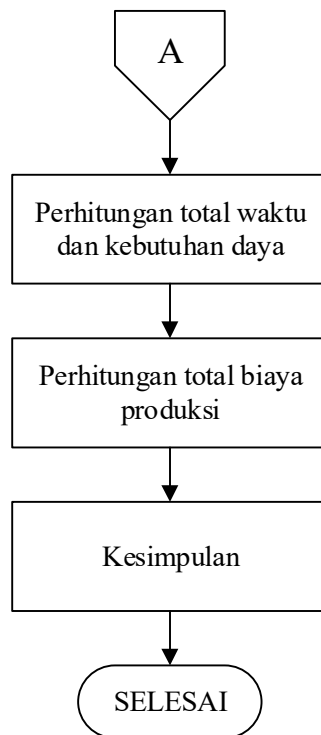
3.2. *Flowchart*

Flowchart dapat didefinisikan sebagai bagan yang menunjukkan arus pekerjaan secara keseluruhan dari sistem. Bagan ini menjelaskan urutan-urutan dari prosedur-prosedur yang ada di dalam sistem. Bagan alir sistem menunjukkan apa yang dikerjakan di sistem. Dalam penelitian ini *Flowchart* menunjukkan tahapan-tahapan yang dilakukan penulis dari tahap awal hingga akhir untuk mencapai tujuan penelitian. Terdapat simbol- simbol dalam diagram alir (*Flowchart*) ini seperti:

- *Terminator* : berfungsi sebagai tanda awal dan akhir diagram,
- *Input/output* data(Jajarganjang) : berfungsi untuk menerangkan proses input/output data, parameter dan informasi
- Proses(persegi) : berfungsi menerangkan proses pengolahan data atau proses perhitungan
- *Decision*(belah ketupat) : berfungsi sebagai perbandingan pernyataan, penyeleksian data yang memberikan pilihan untuk langkah selanjutnya
- *Connector* : berfungsi sebagai penghubung bagian-bagian *Flowchart* yang berada pada halaman berbeda
- *Flow line*(garis alir) : menunjukkan arah aliran program.



Gambar 3. 1 *Flowchart* Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3. 2 *Flowchart* Pengerjaan Tugas Akhir(lanjutan)

3.3. Studi Literatur

Pada tahapan ini adalah mencari referensi permasalahan-permasalahan yang ada berikut solusinya dan juga mempelajari kedua hal tersebut untuk diimplementasikan pada skripsi ini, sehingga jelas apa saja yang harus dilakukan agar permasalahan tersebut dapat terpecahkan. Studi literatur dapat dilakukan dengan cara membawa paper atau jurnal yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dipecahkan.

3.4. Persiapan Data dan Identifikasi Benda(Dimensi dan bahan)

Selanjutnya adalah pengumpulan data yang bertujuan memperoleh data dan informasi yang menunjang pengerjaan skripsi. Dalam hal ini data yang dibutuhkan antara lain :

1. Data jenis material benda,
2. Dimensi dari benda kerja yang akan di kerjakan,
3. Penentuan *Software* berdasarkan pengerjaan benda.

3.5. Desain Model

Blade(daun) *Controllable Pitch Propeller* di desain sesuai geometri *propeller* yang telah di dapat menggunakan *Software* berbasis CAD. *Software* yang digunakan untuk merancang *propeller* yaitu PropCad, serta Inventor *Proffesional* sebagai *Software* tambahan untuk merancang flange. *Software* CAD lainnya mungkin akan di gunakan sebagai pendukung proses desain *propeller*.

3.6. Desain Proses Permesinan

Dalam tahap perancangan ini, dilakukan penentuan perancangan gambar kerja CNC 3A. Desain benda yang telah di kerjakan pada *Software* CAD di invert ke *Software* MasterCam. Pada proses desain ini penulis merancang proses agar benda kerja yang semula persegi dapat menjadi bentuk yang diinginkan. Pemilihan tipe mesin, penentuan pahat, dan perencanaan *Toolpath* diatur pada tahap ini. Variasi permesinan direncanakan guna mendapatkan hasil pengerjaan paling optimal, variasi permesinan yang direncanakan antara lain:

- a. Jenis material dan diameter pahat, mempengaruhi besarnya *cutting speed*.
- b. *Cutting speed*, mempengaruhi besarnya RPM mesin.
- c. RPM, mempengaruhi besarnya *Feeding*.
- d. *Feeding*, mempengaruhi waktu pengerjaan.

3.7. Penentuan Parameter *Tool*

Pada tahap ini ditentukan parameter-parameter *tool* yang divariasikan berdasarkan arah gerak pahat atau alur pahat. Alur ini bervariasi dan dibedakan tiap *Toolpath*-nya, dipilih alur mana yang nantinya menghasilkan waktu paling optimal. Waktu yang dihasilkan dari seluruh *Toolpath* pengerjaan merupakan waktu total proses produksi yang nantinya digunakan untuk menghitung biaya permesinannya.

3.8. Simulasi Program

Setelah penentuan parameter-parameter alur jalan pahat , dilakukan simulasi(*running*) program pada MasterCam. Hal ini bertujuan untuk melihat hasil benda kerja yang di desain sebelumnya dan untuk melihat lamanya waktu pada masing-masing alur pada tiap-tiap *Toolpath*.

3.9. Validasi Program

Pada tahap ini merupakan tahap untuk pemilihan hasil dari simulasi program sebelumnya. Dari beberapa variasi yang telah di tentukan, menghasilkan output waktu yang berbeda. Pada tiap simulasi dihitung waktu

prosesnya, jika belum mendapatkan waktu yang optimal, mengulangi tahap penentuan parameter alur pahat untuk mendapatkan waktu yang paling optimal.

3.10. Perhitungan Waktu Total dan Kebutuhan Daya

Waktu total proses produksi merupakan keseluruhan waktu proses pengerjaan pada variasi-variasi *tool* dengan hasil paling optimal dan juga waktu permesinan non-produktif. Setelah mendapatkan waktu yang optimal, dihitung juga kebutuhan daya untuk pengerjaan benda di CNC 3A LEADWELL MV. 610.

3.11. Perhitungan Biaya Total Proses Produksi

Langkah penghitungan biaya produksi adalah mengkonversi total daya menjadi *cost* dengan mempertimbangkan aspek-aspek lain yang memicu timbulnya biaya tambahan.

3.12. Kesimpulan

Dari hasil yang didapat, ditarik kesimpulan yang dapat menjawab perumusan masalah dan tujuan pada tugas akhir ini.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

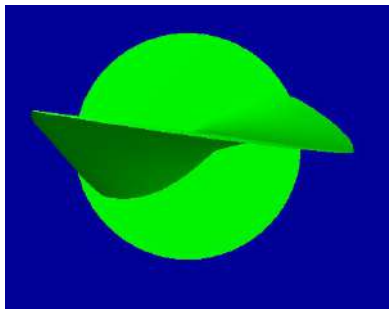
Dalam bab ini akan dilakukan Analisa Data berupa pendesaianan model, optimasi jalan pahat, perhitungan waktu optimal hingga perhitungan total biaya produksi *Blade Controllable Pitch Propeller*.

4.1. Desain Model

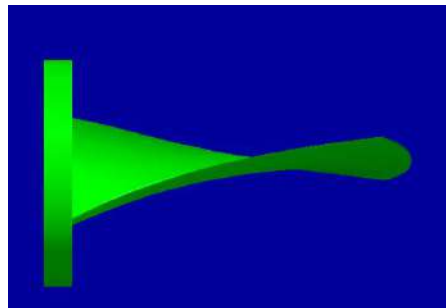
Benda kerja yang akan di proses dalam mesin CNC *milling* adalah *Blade* atau daun dari *propeller* tipe *Controllable Pitch Propeller* (CPP), dengan data utama sebagai berikut :

- Tipe : *Kaplan*
- Jumlah daun : 4 daun
- Material : Aluminium
- Diameter : 300 mm
- Diameter *Blade Flange* : 80 mm
- Dimensi benda kerja : 135 x 120 x 85 mm³

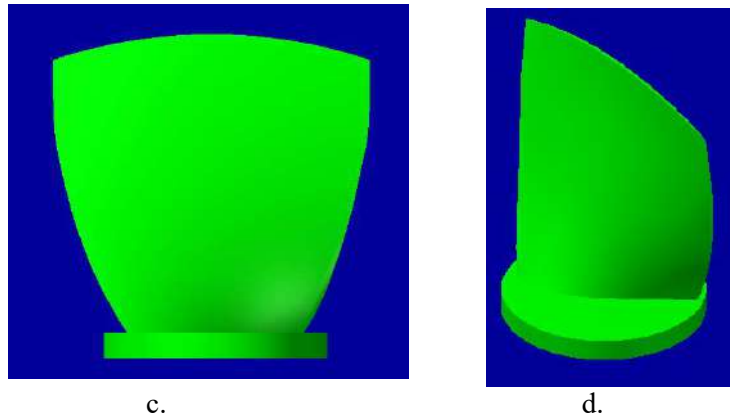
Gambar 2.14 merupakan gambar pandangan dari *Blade Controllable Pitch Propeller* tampak atas, samping, depan dan *isometric*.



a.



b.



Gambar 4. 1 Gambar Pandangan *Blade* CPP tipe *Kaplan* diameter 30 cm
a. *top view*, b. *side view*, c. *front view*, d. *isometric view*

Permodelan *Blade* dibagi dalam beberapa tahap, yaitu :

1. Permodelan pada PropCad.
Berfungsi untuk mendapatkan model *Blade* dengan menginput parameter-parameter tertentu seperti berikut:

Rotation : *RIGHT*
Blades : 4
Diameter : 0,30000
Pitch : 0,30000
Rake Angle : 0,0°

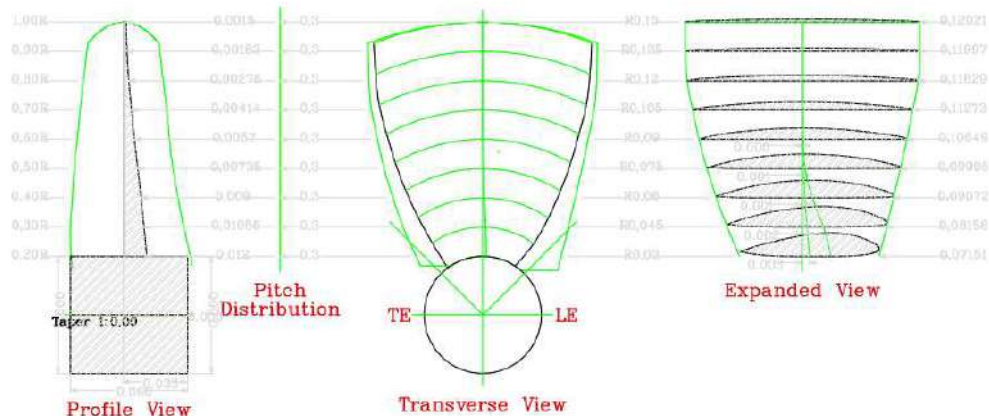
Maka didapat *offsets Propeller* sebagai berikut:

Table 4. 1 *Offsets Table* (meter)

r/R	r	C	MT	SK	P	PA°	RL
0.20	0.030	0.07151	0.01200	-0.00347	0.300	57.86	0.00
0.30	0.045	0.08156	0.01056	-0.00220	0.300	46.70	0.00
0.40	0.060	0.09072	0.00900	-0.00118	0.300	38.51	0.00
0.50	0.075	0.09905	0.00735	-0.00053	0.300	32.48	0.00
0.60	0.090	0.10649	0.00570	-0.00013	0.300	27.95	0.00
0.70	0.105	0.11273	0.00414	0.00000	0.300	24.45	0.00
0.80	0.120	0.11829	0.00276	0.00000	0.300	21.70	0.00
0.90	0.135	0.11997	0.00183	0.00000	0.300	19.48	0.00
1.00	0.150	0.12021	0.00150	0.00000	0.300	17.66	0.00

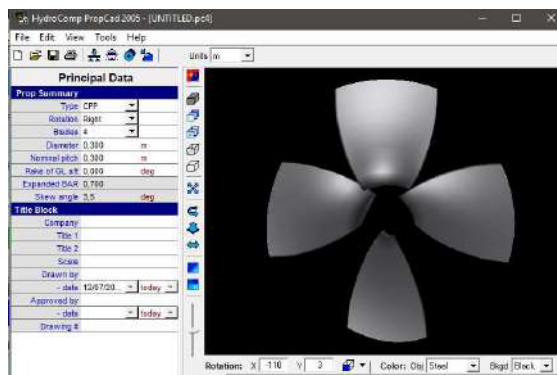
Dari *offsets table* 4.1 maka didapatkan geometri propeller sebagai berikut:

KAPLAN PROPELLER 4 BLADES R 0,15



Gambar 4. 2 Geometri *Propeller Kaplan* tipe CPP D 0,3 meter

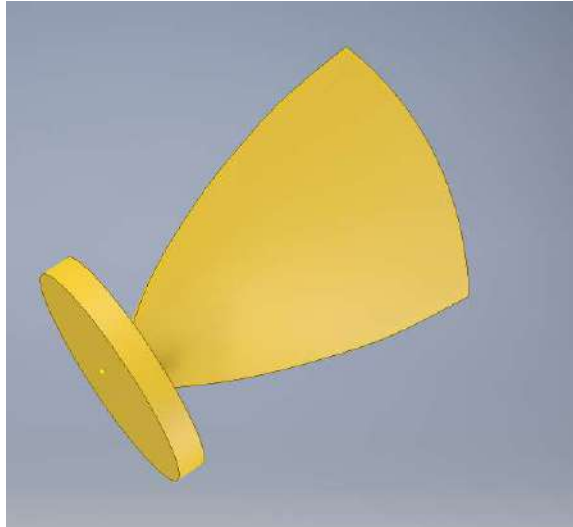
Dari gambar 4.2 dapat dilihat tampak 2D berupa *expanded view*, *transverse view*, dan *profile view* dari *propeller Kaplan* tipe CPP dengan diameter 0,3 meter atau radius 0,15 meter. Tampak 3D dari desain *Propeller* tersebut dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Permodelan 3D pada PropCad

2. Permodelan pada Rhinos untuk membuat *Surface Blade*.
3. Permodelan pada Inventor untuk menyolidkan *Blade* menambahkan *Blade* flange dengan diameter 80 mm.
4. Permodelan pada MasterCam, pada tahap ini dibuat langkah pengerjaan *Blade* dengan CNC dari benda kerja awal berupa balok dengan dimensi 135 x 120 x 85 mm³. Permodelan pada MasterCam akan dibahas lebih pada subbab selanjutnya.

Permodelan pada Inventor digunakan untuk menambahkan *flange* dengan diameter 80 mm (gambar 4.4). *Flange* tersebut berguna untuk menggabungkan *Blade* dengan *hub propeller*.



Gambar 4. 4 Permodelan pada Inventor

4.2. Desain Permesinan pada MasterCam

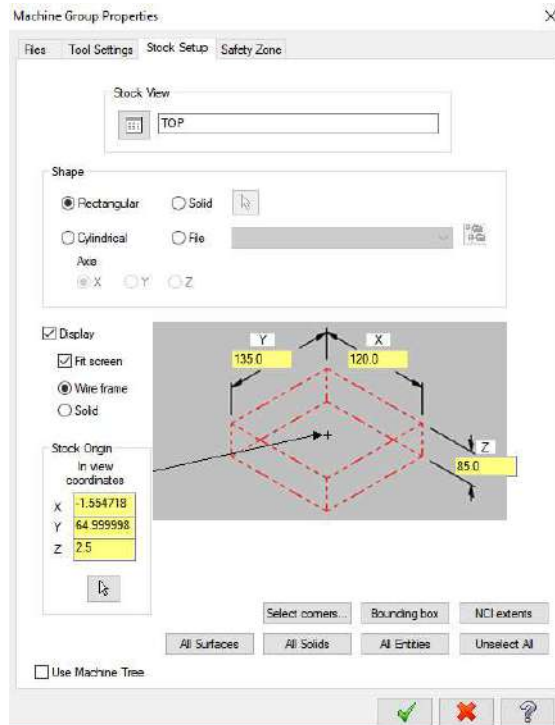
Desain proses permesinan pada MasterCam adalah tahapan untuk menentukan jenis permesinan, pemilihan boundary atau batas daerah *tool* bekerja, dan pemilihan jenis pengerjaan yang tepat untuk pembuatan *Blade CPP* yang telah di desain pada subbab sebelumnya. *Blade* yang telah di desain pada *Software CAD* di *convert* ke MasterCam. Di MasterCam jenis pengerjaan tersebut disebut dengan *Tollpath*. Pemilihan *Toolpath* sendiri disesuaikan dengan bentuk benda kerja, untuk *Blade CPP* sendiri merupakan jenis pengerjaan 3D yang mengharuskan pergeseran atau pemakanan benda pada 3 aksis (x,y, dan z) maka dipilihlah *Toolpath Surface* untuk pengerjaan 3D. Langkah-langkah desain permesinan pada MasterCam antara lain :

4.2.1. Pemilihan Jenis Permesinan

Di MasterCam terdapat berbagai jenis permesinan antara lain *Mill*, *Lathe*, *Wire*, *Art*, dan *Router*. Pada dasarnya CNC merupakan mesin perkakas konvensional yang dioperasikan menggunakan komputer. Mesin perkakas tersebut yakni *Mill* atau frais dengan 3 sistem persumbuan (3 axis system), dan *Lathe* atau bubut dengan 2 sistem persumbuan (2 axis system). Seperti dibahas dalam subbab ini, *Blade CPP*

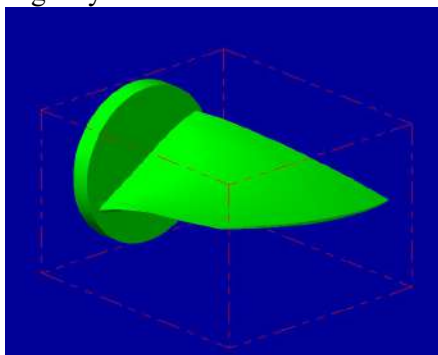
merupakan jenis pengerjaan 3D dengan pergeseran 3 aksis, jadi tipe mesin yang di pilih adalah *milling* atau *MILL DEFAULT MM*.

Setelah jenis mesin dipilih barulah menentukan dimensi benda kerja awal yaitu 135x120x85 mm³. Dimesi ini dibuat berdasarkan volume *Blade* itu sendiri. Untuk pengaturan dimensi benda kerja dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 *Machine Group properties* untuk pengaturan *stock*

Pada gambar 4.6 bentuk balok dapat dilihat pada garis putus-putus berwarna merah yang nantinya akan di proses menjadi *Blade* seperti bentuk di tengahnya.

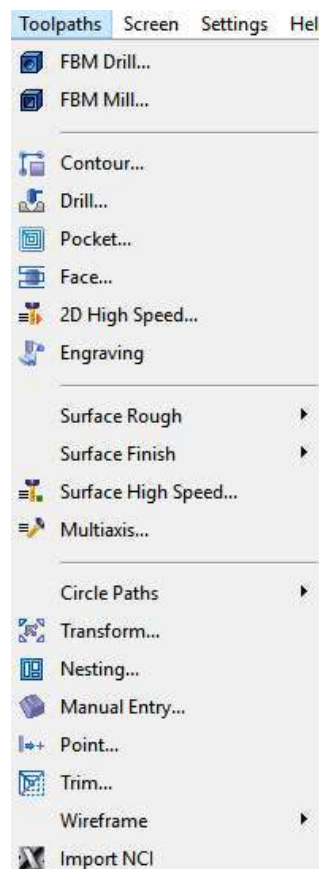


Gambar 4. 6 Penentuan *stock* pada MasterCam

4.2.2. Pemilihan *Toolpath*

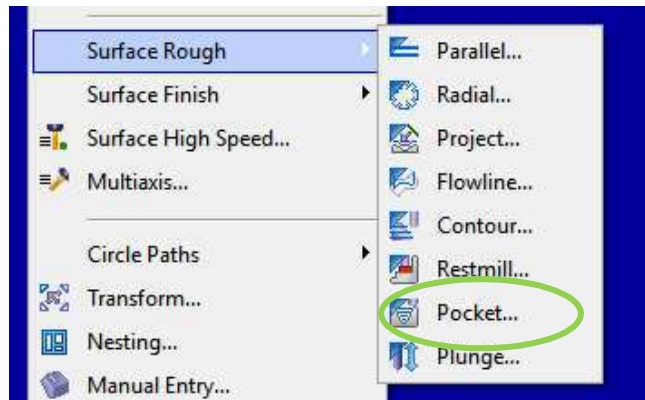
Toolpath adalah pola gerakan pahat/*tools* pada mesin CNC yang disimulasikan dalam MasterCam ketika menyayat material nantinya. *Toolpath* dipilih sesuai jenis pengerjaan dan tipe mesin yang dipakai. Untuk proses produksi *Blade Controllable Pitch Propeller* digunakan mesin tipe *mill* atau frais. Tiap *Toolpath* juga memiliki fungsi yang berbeda apakah untuk pengerjaan 2D atau 3D apakah *Roughing* atau *finishing* dan pengerjaan lainnya.

Untuk pengerjaan *Blade* dengan bentuk 3D maka *Toolpath* yang dipakai juga *Toolpath* untuk pengerjaan 3D, yaitu *Toolpath Surface*. *Toolpath Surface* terbagi menjadi 2 yaitu *roughing* atau pengerjaan kasar dan *finishing* atau pengerjaan penyelesaian.

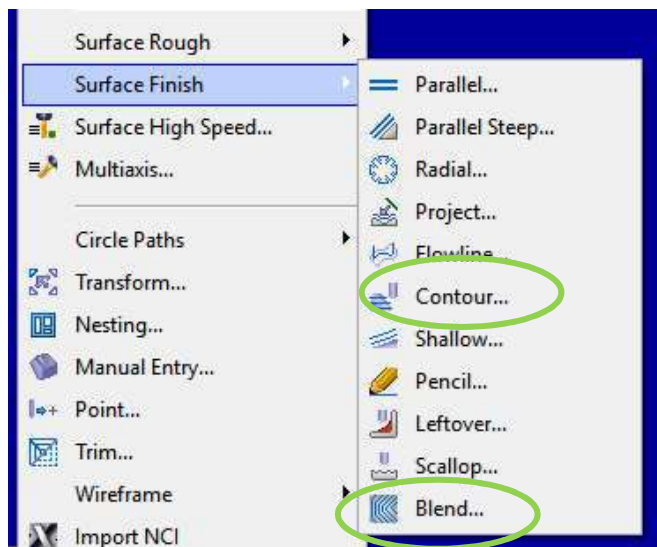


Gambar 4. 7 Pemilihan *Toolpath*

Pada pengerjaan *Blade CPP* dilakukan dalam 2 tahap *machining*. Tahap ini berdasarkan *Face* dari benda. *Face* yang dimaksud yaitu sisi dari benda yang akan di sayat, yaitu sisi atas(*TOP view*) dan sisi bawah(*BOTTOM view*).



a.



b.

Gambar 4. 8 a. *Surface Rough Pocket* , b. *Surface finish Contour and Blend*

Jenis *Toolpath* yang dipilih dapat di lihat pada gambar 4.8. Setelah itu barulah menentukan *chaining* untuk membatasi gerak kerja pahat. Gerak kerja pahat ini dibatasi guna mengurangi gerakan pahat yang tidak berguna karena akan menambah konsumsi daya.

4.2.3. Pemilihan Pahat

Untuk proses penyayatan benda kerja pastilah menggunakan sebuah *tool* atau alat yang disebut pahat. Pahat untuk mesin frais ada banyak jenisnya antara lain: pahat rata muka (*Face Endmill*), pisau jari (*flat Endmill*), *bull Endmill*, *sphere Endmill*, mata bor, dan sebagainya. Jenis-jenis pahat ini memiliki fungsi berbeda-beda tergantung jenis pengerjaannya. Untuk pengerjaan 2D biasanya dipakai pahat *flat Endmill*, untuk meratakan permukaan dipakai *Face mill* karena pahat ini mempunyai sisi sayat yang lebih lebar untuk mempercepat proses perataan benda kerja, sedangkan untuk pengerjaan 3D biasanya dipakai pahat *bull* dan *spher Endmill* yang memiliki radius pada mata sayatnya.

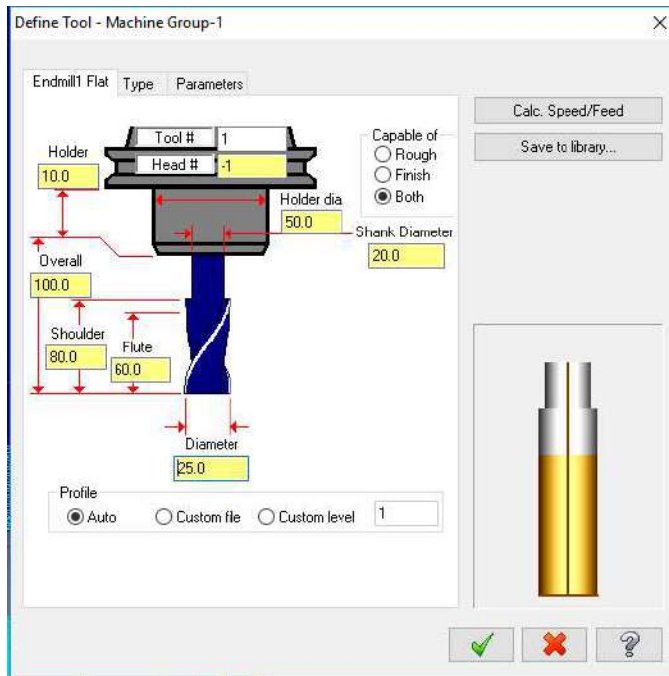


Gambar 4. 9 Jenis-jenis pahat pada mesin frais

Dari jenis-jenis pahat yang ada, dipilihlah pahat untuk pengerjaan sebagai berikut :

- Untuk pengerjaan 2D menggunakan pahat *flat Endmill* dengan diameter 5mm dan 25mm sesuai jenis *Toolpath*-nya.
- Untuk pengerjaan *Surface* 3D, proses *roughing* menggunakan pahat *bull Endmill* diameter 20mm dengan *corner radius* 5mm

- Untuk proses *finishing Surface* menggunakan pahat *spher Endmill* diameter 20mm, menggunakan pahat ini agar hasil pengerjaan *Blade* lebih halus.



Gambar 4. 10 Contoh pemilihan pahat jenis *flat Endmill*

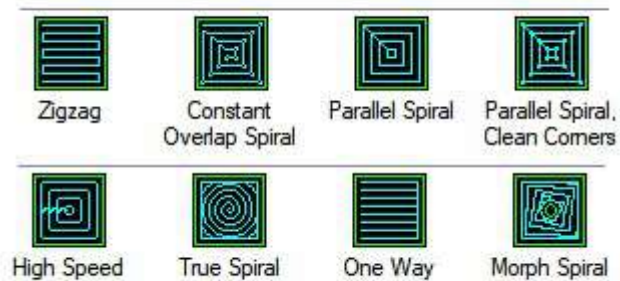
4.2.4. Variasi Alur Pahat

Variasi untuk jalan pahat merupakan macam-macam jenis gerakan pahat yang mana yang nantinya dipilih untuk pengerjaan pada satu *Toolpath*. Setiap *Toolpath* belumlah selalu sama alur lintasan pahatnya karena waktu optimal yang dihasilkan oleh satu alur dalam suatu *Toolpath* belum tentu optimal untuk *Toolpath* yang lain.

Variasi ini adalah macam-macam alur lintasan pahat untuk *Toolpath* jenis pocketing, karena untuk jenis contour dan facing tidak terlalu banyak variasi alurnya. Jenis-jenis alur yang dimaksudkan antara lain sebagai berikut:

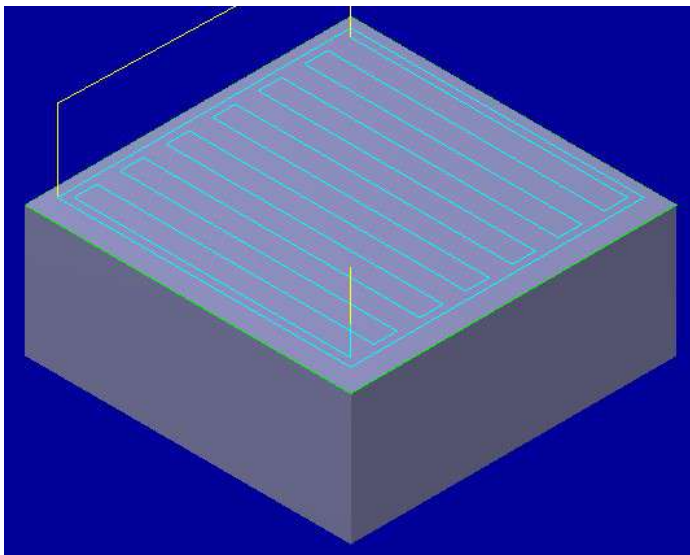
- *Zigzag*
- *Constant Overlap Spiral*
- *Parallel Spiral*
- *Parallel Spiral, Clean Corner*
- *High Speed*
- *Morph Spiral*

- *One Way*
- *True spiral*

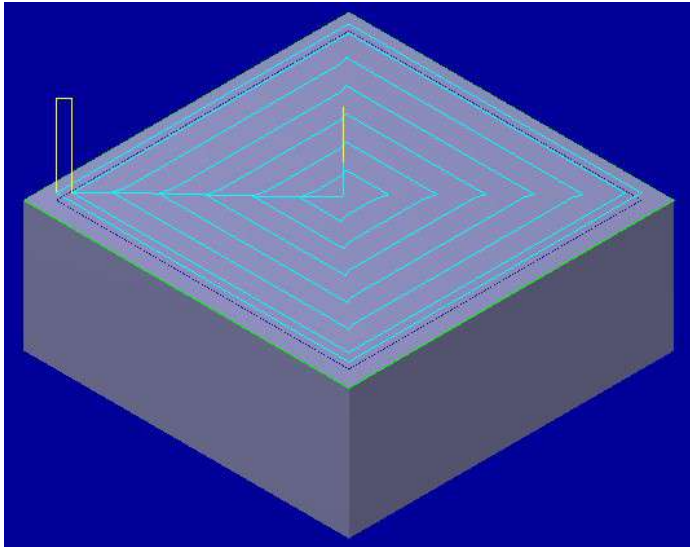


Gambar 4. 11 Jenis-jenis alur lintasan pahat

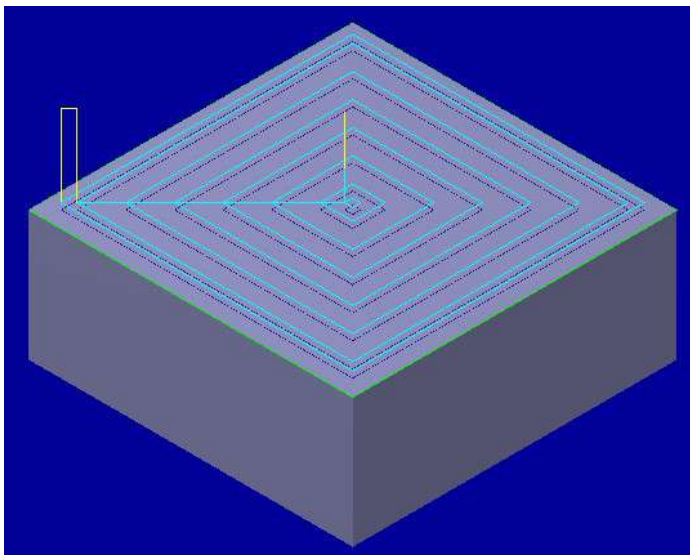
Gambar 4.11 merupakan jenis-jenis alur lintasan pahat, sedangkan untuk simulasi hasil lintasan pahatnya dapat dilihat pada gambar 4.12 sampai 4.19.



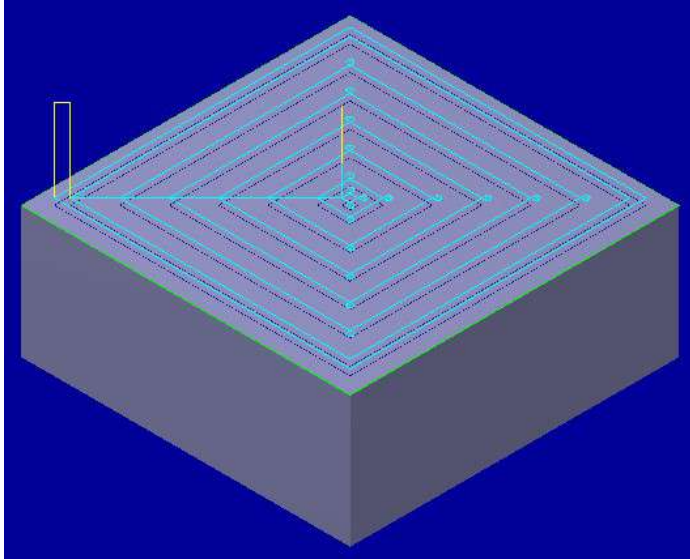
Gambar 4. 12 Simulasi alur lintasan pahat model *Zigzag*



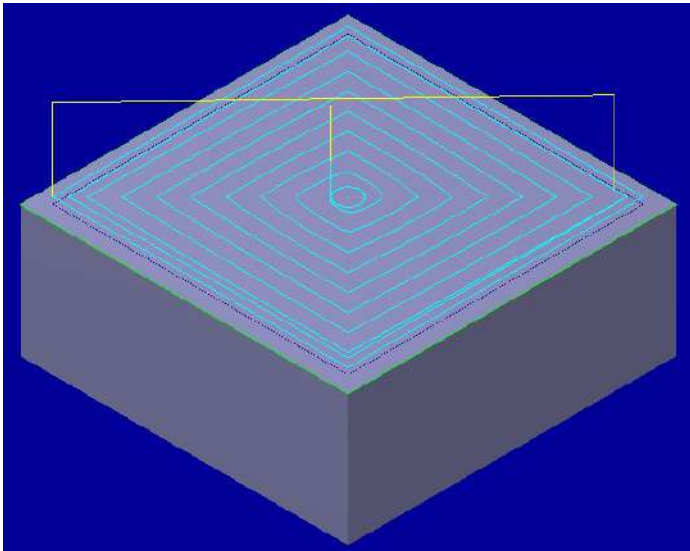
Gambar 4. 13 Simulasi alur lintasan pahat model *Constant Overlap Spiral*



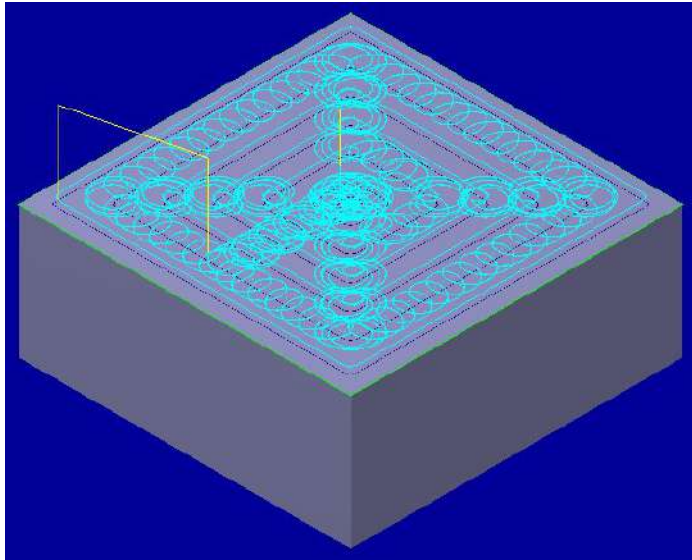
Gambar 4. 14 Simulasi alur lintasan pahat model *Parallel Spiral*



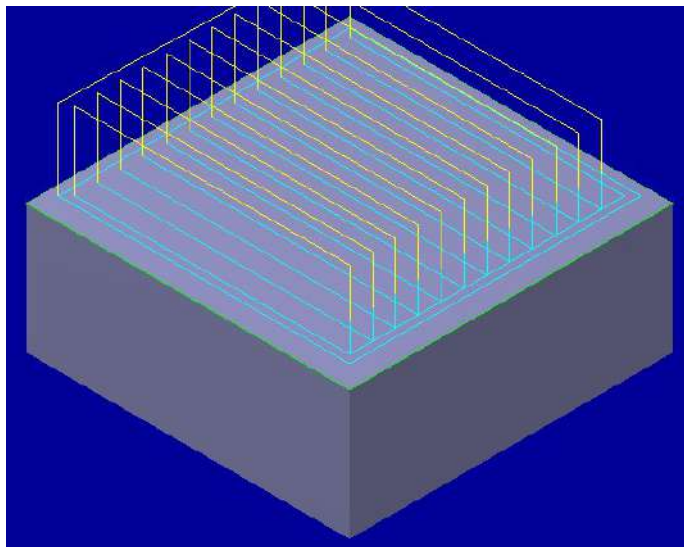
Gambar 4. 15 Simulasi alur lintasan pahat model *Parallel Spiral, Clean Corner*



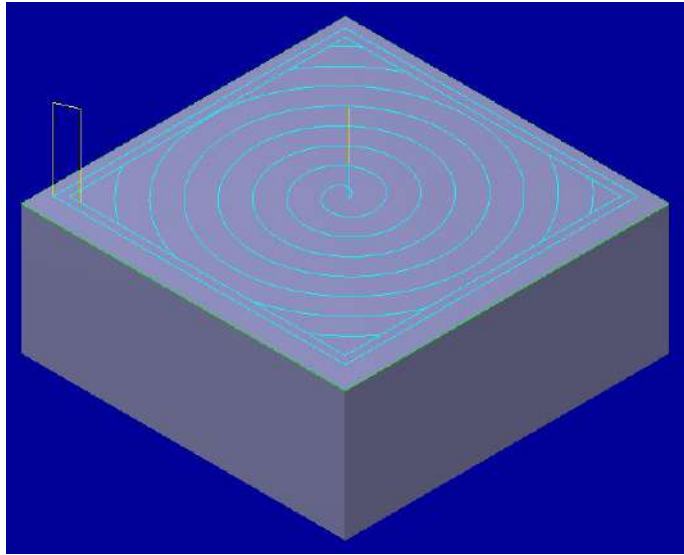
Gambar 4. 16 Simulasi alur lintasan pahat model *Morph Spiral*



Gambar 4. 17 Simulasi alur lintasan pahat model *High Speed*

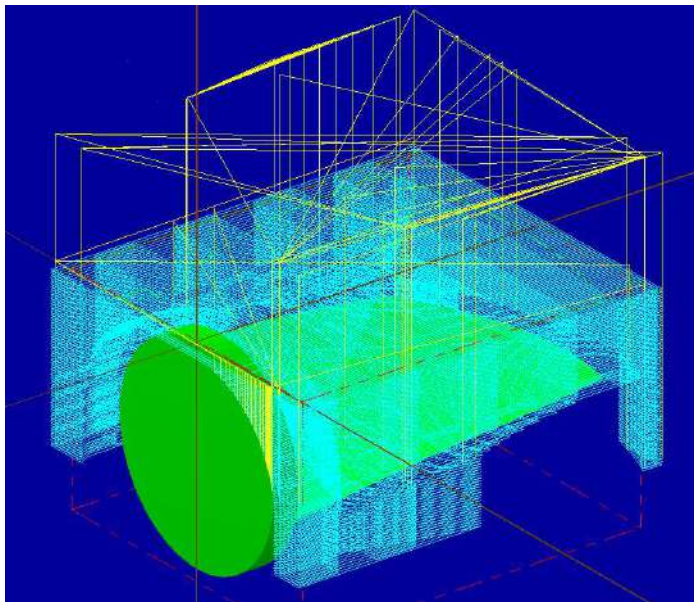


Gambar 4. 18 Simulasi alur lintasan pahat model *One Way*



Gambar 4. 19 Simulasi alur lintasan pahat model *True Spiral*

Untuk alur lintas pahat sendiri tingkat kerumitannya sesuai dengan benda kerjanya. Contoh alur untuk lintasan pengerjaan *Blade* sendiri dapat dilihat pada gambar 4.20.



Gambar 4. 20 Contoh alur lintasan pahat pengerjaan *Blade CPP* model *Zigzag*

4.3. Penentuan Parameter Permesinan

Semua parameter permesinan dihitung untuk mendapatkan optimasi permesinan berupa hasil pengerjaan yang lebih halus, pahat lebih awet dan waktu pengerjaan yang lebih optimal. Parameter permesinan yang perlu ditentukan antara lain:

- Jenis material dan diameter pahat, mempengaruhi besarnya *cutting speed*.
- Cutting speed*, mempengaruhi besarnya RPM mesin.
- RPM, mempengaruhi besarnya *Feeding*.
- Feeding* dan *depth of cut*, mempengaruhi waktu pengerjaan dan besarnya *output* daya.

Rumus untuk menghitung parameter permesinan antara lain:

$$CS = \frac{\pi DN}{1000}, N = \frac{1000CS}{\pi D} \dots\dots\dots(4-1)$$

Dimana :

Cs = *Cutting speed* (m/menit)
D = Diameter (mm)
N = Putaran spindel (putaran/menit)

$$F = f_z \times N \dots\dots\dots(4-2)$$

Dimana :

F = *Feed Rate* (mm/menit)
 f_z = *Cutting Feed* (mm/putaran)

$$f_z = f_t \times Z \dots\dots\dots(4-3)$$

Dimana :

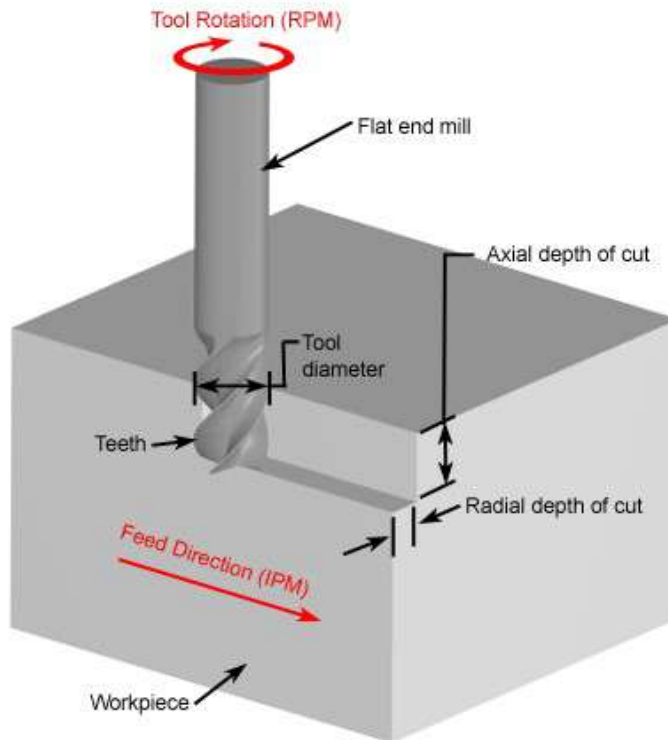
F_t = *Feed Per Tooth* (mm/putaran)
Z = Jumlah gigi/mata sayat

$$t = \frac{L}{F} \dots\dots\dots(4-4)$$

Dimana :

t = Waktu penyayatan (menit)
L = Panjang penyayatan (mm)

Nilai dari parameter-parameter permesinan dapat di kalkulasikan dalam *Software MasterCam* sendiri. Antara lain yang dapat diatur adalah *Feed Rate*, *plunge rate*(gerak makan searah sumbu -z), rpm, jenis material pahat, *axial depth of cut*, dan *radial depth of cut*. Serta *output*-an yang dihasilkan salah satunya adalah panjang penyayatan dan waktu pengerjaan. Ilustrasi mengenai parameter permesinan dapat dilihat pada gambar 4.20.



Copyright © 2008 CustomPartNet

Gambar 4. 21 Ilustrasi Parameter Permesinan
(Sumber: www.custompartnet.com)

Nilai dari *axial depth of cut* dan *radial depth of cut* merupakan nilai untuk menghitung konsumsi daya pemotongan dari *CNC milling*. Daya yang dihasilkan dari pemotongan merupakan fungsi dari *depth of cut* yang merupakan beban atau *load* dari pemotongan benda.

Untuk menghitung besarnya *feeding* mengacu pada tabel 4.2. Nilainya didasarkan pada jenis material pahat dan jenis pahatnya.

Tabel 4. 2 Nilai *Feed Per Tooth* dan *Cutting speed* untuk pahat carbida

Carbide Cutters							
Material	Feed (in/tooth) Speed (fpm)	Face Mills	Slab Mills	End Mills	Full and Half Side Mills	Saws	Form Mills
Malleable Iron Soft/Hard	Feed per tooth Feed per min.	.005-.015 200-300	.005-.015 200-300	.005-.010 200-350	.005-.010 200-300	.003-.004 200-350	.005-.010 175-275
Cast steel Soft/Hard	Feed per tooth Feed per min.	.008-.015 150-350	.005-.015 150-350	.003-.010 150-350	.005-.010 150-350	.002-.004 150-300	.005-.010 150-300
100-150 BHN Steel	Feed per tooth Feed per min.	.010-.015 450-800	.008-.015 450-800	.005-.010 450-800	.008-.012 450-800	.003-.006 350-800	.004-.010 350-600
150-250 BHN Steel	Feed per tooth Feed per min.	.010-.015 300-450	.008-.015 300-450	.005-.010 300-450	.007-.012 300-450	.003-.006 300-450	.004-.010 300-450
250-350 BHN Steel	Feed per tooth Feed per min.	.008-.015 180-300	.007-.012 150-300	.005-.010 150-300	.005-.012 180-300	.002-.005 150-300	.003-.008 150-300
350-450 BHN Steel	Feed per tooth Feed per min.	.008-.015 125-180	.007-.012 100-150	.004-.008 100-150	.005-.012 125-180	.001-.004 100-150	.003-.008 100-150
Cast Iron Hard BHN 225-350	Feed per tooth Feed per min.	.005-.010 125-200	.005-.010 100-175	.003-.008 125-200	.003-.010 125-200	.002-.003 125-200	.005-.010 100-175
Cast Iron Medium BHN 180-225	Feed per tooth Feed per min.	.008-.015 200-275	.008-.015 175-250	.005-.010 200-275	.005-.012 200-275	.003-.004 200-250	.008-.012 175-250
Cast Iron Soft BHN 150-180	Feed per tooth Feed per min.	.015-.025 275-400	.010-.020 250-350	.005-.012 275-400	.008-.015 275-400	.003-.004 250-350	.008-.015 250-350
Bronze Soft/Hard	Feed per tooth Feed per min.	.010-.020 300-400	.010-.020 300-800	.005-.010 300-1000	.008-.012 300-1000	.003-.004 300-1000	.008-.015 200-800
Brass Soft/Hard	Feed per tooth Feed per min.	.010-.020 500-1500	.010-.020 500-1500	.005-.010 500-1500	.008-.012 500-1500	.003-.004 500-1500	.008-.015 500-1500
Aluminum Alloy Soft/Hard	Feed per tooth Feed per min.	.010-.040 2000 UP	.010-.030 2000 UP	.003-.015 2000 UP	.008-.025 2000 UP	.003-.006 2000 UP	.008-.015 2000 UP

Contoh perhitungan untuk menentukan besarnya *Feeding* dan RPM mesin:

Tabel 4. 3 Data pahat *endmill* diameter 5mm

Data Tool	
Jenis pahat	<i>Flat Endmill</i>
Diameter	Ø 5
Jumlah Gigi	4
Material	<i>Carbide Cutter-300BHN Steel</i>

Untuk perhitungan parameter mengacu pada tabel 4.2 dan 4.3, sehingga didapat hasil sebagai berikut :

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 D &= \varnothing 5 && \text{mm} \\
 Z &= 4 \\
 F_t &= 0.127 - 0.254 && \text{mm/tooth} \\
 \text{Diambil nilai } F_z &= 0.12 \\
 CS &= 24 && \text{m/min}
 \end{aligned}$$

Ditanya :

- N, Rpm
- F, mm/min

$$\begin{aligned}
 \text{a. } N &= \frac{1000CS}{\pi D} \\
 &= \frac{1000 \times 24}{3.14 \times 5} \\
 &= 1528.66242 \sim 1500 \text{ RPM}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } f_z &= f_t \times Z \\
 &= 0.12 \times 4 \\
 &= 0.48 \text{ mm/tooth}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F &= f_z \times N \\
 &= 0.48 \times 1500 \\
 &= 720 \text{ mm/min}
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan hasil dari pengaturan parameter permesinan di MasterCam:

- Pahat(*tool*) yang dipakai:

Tabel 4. 4 Jenis, diameter, dan material pahat

Jenis Pahat	Diameter(mm)	Material
<i>Flat Endmill</i>	$\varnothing 5$	<i>Carbide Cutter-300BHN Steel</i>
<i>Flat Endmill</i>	$\varnothing 25$	
<i>Spher Endmill</i>	$\varnothing 20$	
<i>Bull Endmill</i>	$\varnothing 20\text{-CR5}$	

- *Spindle Speed* atau jumlah putaran tiap menit masing-masing pahat:

Tabel 4. 5 Kecepatan Putar Spindel masing-masing jenis pahat

Jenis Pahat	Diameter(mm)	<i>Spindle Speed</i> (Rpm)
<i>Flat Endmill</i>	Ø 5	1500
<i>Flat Endmill</i>	Ø 25	3055
<i>Spher Endmill</i>	Ø 20	3055
<i>Bull Endmill</i>	Ø 20-CR5	3820

- *Feed Rate* atau panjang penyayatan(mm) tiap satuan waktu(menit) untuk tiap-tiap jenis pahat adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 6 *Feed Rate* untuk tiap-tiap jenis pahat

Jenis Pahat	Diameter(mm)	<i>Feed Rate</i> (mm/min)
<i>Flat Endmill</i>	Ø 5	720
<i>Flat Endmill</i>	Ø 25	611
<i>Spher Endmill</i>	Ø 20	611
<i>Bull Endmill</i>	Ø 20-CR5	764

- *Depth of cut* atau kedalaman pemakanan. *Depth of cut* sendiri dibagi menjadi 2 berdasarkan arahnya, yaitu *axial*(searah sumbu z) dan *radial* (berapa % dari diameter *tool*). Penentuan besar *Depth of cut* adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Kedalaman pamakanan *axial* dan *radial*

Jenis Pahat	Diameter(mm)	<i>Axial Depth of cut</i> (mm)	<i>Radial Depth of cut</i> (mm)
<i>Flat Endmill</i>	Ø 5	2	3
<i>Flat Endmill</i>	Ø 25	1	16.25
<i>Spher Endmill</i>	Ø 20	1	2
<i>Bull Endmill</i>	Ø 20-CR5	0.25	1

4.4. Simulasi Pengerjaan pada MasterCam

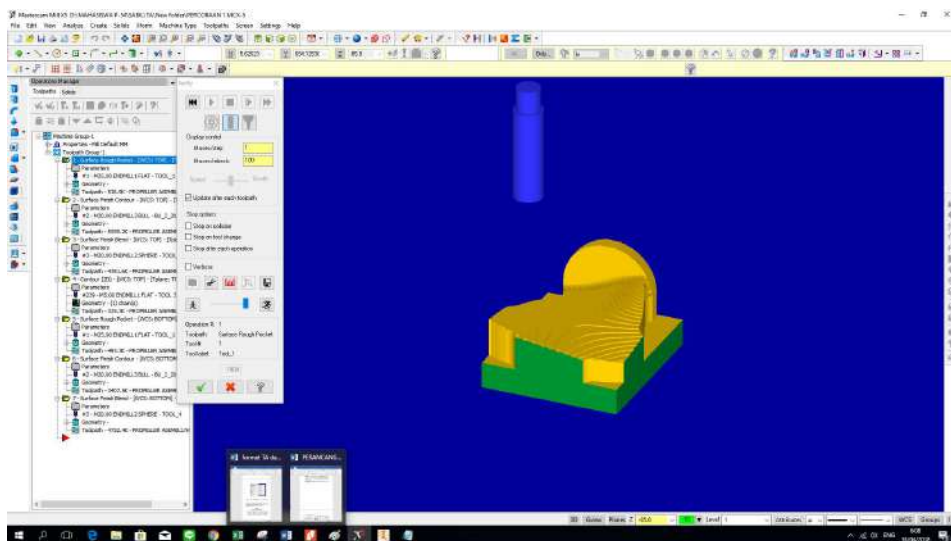
Pengerjaan *Blade Controllable Pitch Propeller* membutuhkan 7 kali langkah pengerjaan atau *Toolpath* dengan 2 *Face* yaitu TOP dan BOTTOM. Setelah disimulasikan akan dapat dilihat hasil waktu tiap variasi alur penyayatan benda kerja.

4.4.1. Simulasi Variasi Alur

Langkah-langkah pengerjaan *Blade Controllable Pitch Propeller* adalah sebagai berikut :

1. *Surface Rough Pocket(TOP Face)*

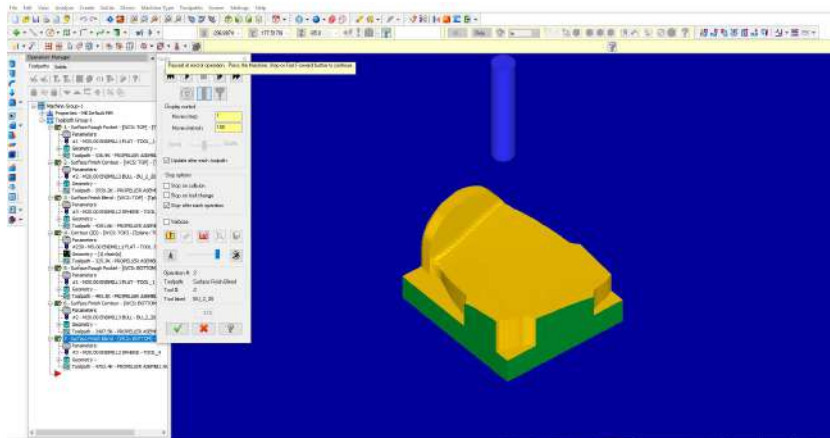
Surface ini merupakan pengerjaan kasar atau *Roughing* dengan pahat *Flat Endmill* \varnothing 25mm. Pengerjaan dari *Toolpath* ini merupakan tipe 2D yang berfungsi untuk mengurangi ketebalan benda kerja sebelum benda dikerjakan untuk proses finishing. Hasil dari *Toolpath* tersebut dapat dilihat pada gambar 4.22.



Gambar 4. 22 Pengerjaan *Surface Rough Pocket(TOP Face)*

2. *Surface Finish Contour(TOP Face)*

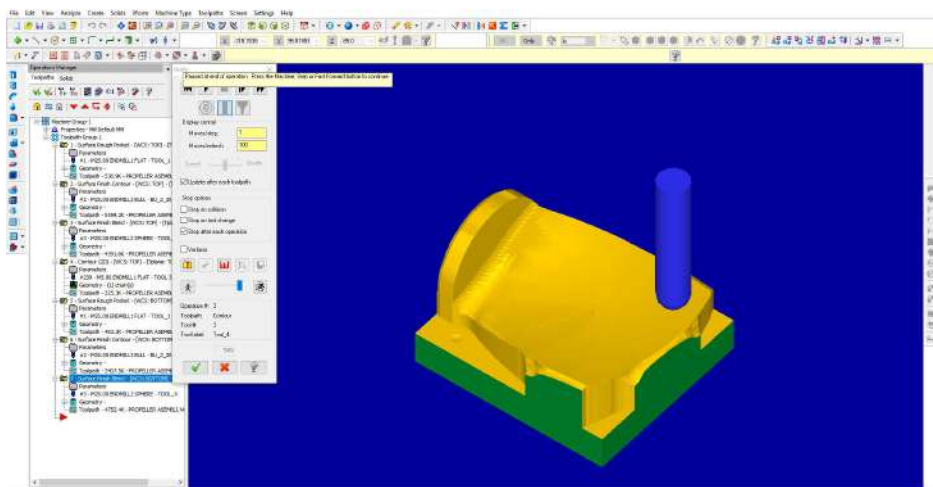
Surface ini berfungsi untuk proses *finishing* pada pengerjaan *Surface Rough Pocket* yang sebelumnya dikerjakan dengan proses *roughing*. *Finishing* ini bertujuan untuk membentuk alur melengkung pada *Blade*, jadi digunakann pahat dengan tipe *Bull Endmill* \varnothing 20-CR5 . CR merupakan kependekan dari *Corner Radius* yang artinya *Bull Endmill* ini pada dasarnya sama dengan *Flat Endmill* namun pada sisinya(*corner*) memiliki radius yang berfungsi untuk pengerjaan *Surfacing*. Hasil dari *Surface Finish Contour* dapat dilihat pada gambar 4.23.



Gambar 4. 23 Pengerjaan *Surface Finish Contour*(TOP Face)

3. *Surface Finish Blend*(TOP Face)

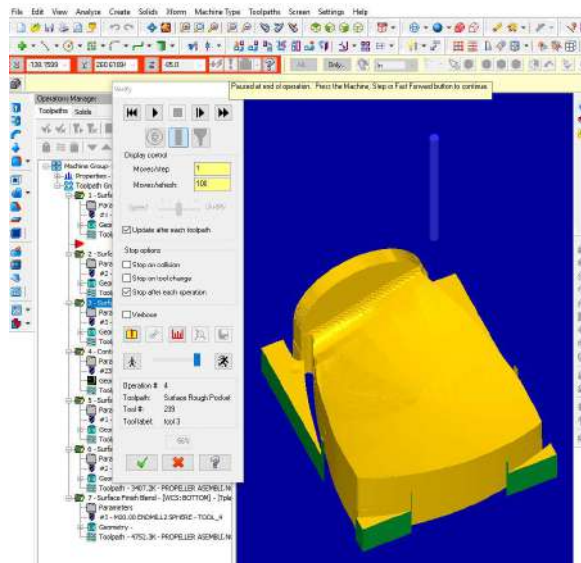
Toolpath ini berfungsi untuk memperhalus permukaan *Blade* pada pengerjaan *Surface Finish Contour*. Dengan menggunakan pahat *Spher Endmill* Ø 20mm. Menggunakan pahat *Spher Endmill* untuk meningkatkan kehalusan permukaan *Blade*



Gambar 4. 24 Pengerjaan *Surface Finish Blend Contour*(TOP Face)

4. *Contour 2D*

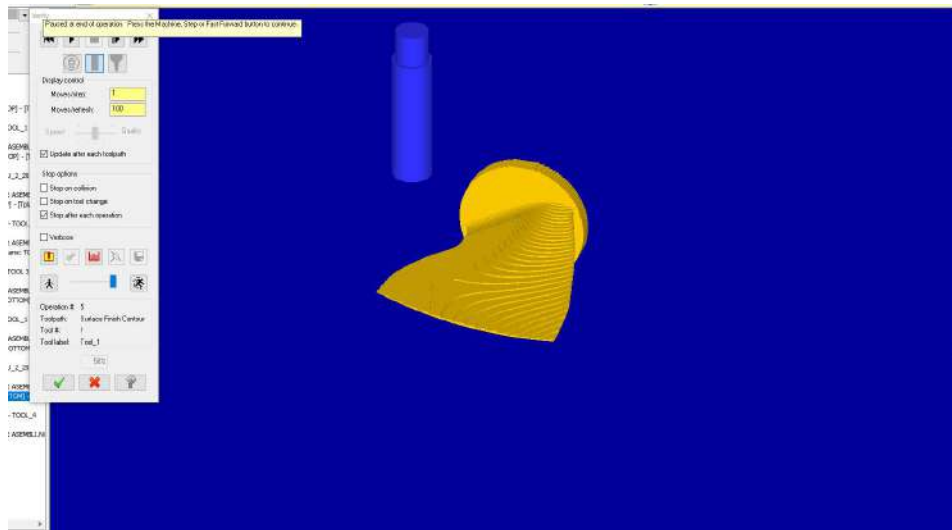
Toolpath ini berfungsi untuk proses *milling* dengan jalan mengikuti alur 2D dari *sketch* yang telah dibuat. Dalam pengerjaan ini *sketch* di buat mengikuti alur *Blade* tampak atas, fungsinya untuk meratakan sisi-sisi benda yang tidak terjangkau oleh proses *Surface 3D TOP Face* . Pengerjaannya menggunakan pahat *Flat Endmill* $\varnothing 5\text{mm}$



Gambar 4. 25 Pengerjaan *Contour 2D(TOP Face)*

5. *Surface Rough Pocket(BOTTOM Face)*

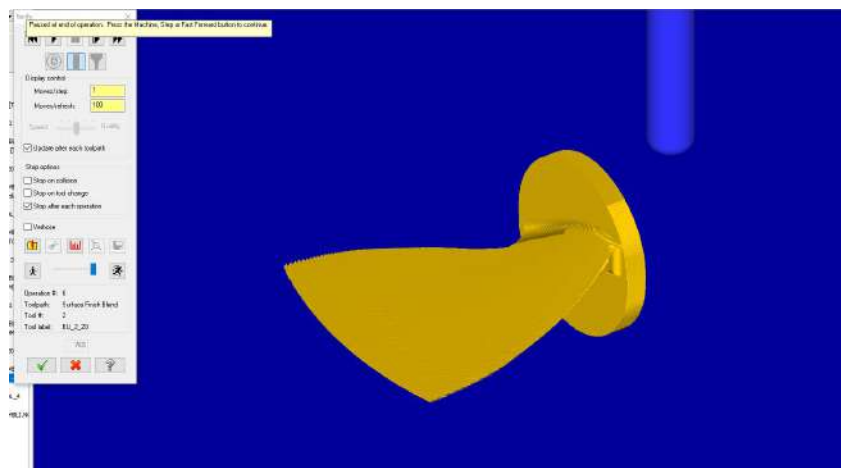
Memiliki fungsi yang sama seperti pengerjaan nomer 1, namun dengan *Face* yang berbeda yaitu pada sisi bawah atau sisi balik dari *Face* sebelumnya. Menggunakan pahat *Flat Endmill* $\varnothing 25\text{mm}$. Hasil pengerjaan dapat dilihat pada gambar 4.26.



Gambar 4. 26 Pengerjaan *Surface Rough Pocket*(BOTTOM Face)

6. *Surface Finish Contour*(BOTTOM Face)

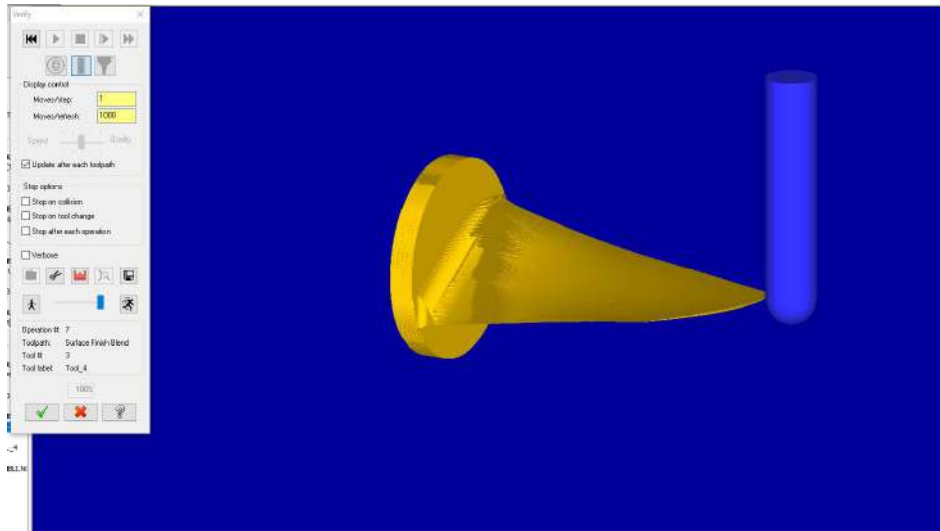
Berdasarkan fungsinya, *Toolpath* ini memiliki kegunaan sama dengan pengerjaan nomor 2 yaitu untuk proses finishing, menggunakan pahat dengan tipe *Bull Endmill* Ø 20-CR5.



Gambar 4. 27 Pengerjaan *Surface Finish Contour*(BOTTOM Face)

7. *Surface Finish Blend BOTTOM Face*)

Pengerjaan tahap terakhir yaitu *Surface Finish Blend* yang berfungsi untuk menghaluskan pengerjaan sebelumnya. Dan juga sebagai *Toolpath* terakhir.



Gambar 4. 28 Pengerjaan *Surface Finish Blend*(*BOTTOM Face*)

4.4.2. Analisa Durasi Pengerjaan

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, diperoleh data-data pengerjaan berupa durasi pengerjaan pada tiap-tiap alur yang disimulasikan. Hasil simulasi dengan variasi alur menghasilkan durasi yang berbeda dan dipilih pengerjaan dengan durasi paling singkat pada 7 *Toolpath* yang telah disimulasikan.

Waktu dengan durasi paling singkat tiap *Toolpath*-nya akan dijumlahkan dan didapatkan nilai waktu total produksi yang paling optimal. Total waktu proses permesinan dapat dilihat pada tabel 4.8 sampai 4.14.

Cycle Time	
Feed	29m:36.87s
Rapid	0.44s
<hr/>	
Total	29m:37.31s

Gambar 4. 29 Analisa hasil durasi pengerjaan *contour* 2D

Tabel 4. 8 Hasil Analisa Durasi *Toolpath Surface Rough Pocket(TOP Face)*

<i>Toolpath</i>	<i>Cutting Method</i>	<i>Tool</i>	Parameter			<i>Time</i>
			<i>Feed Rate</i> (mm/min)	<i>Spindle Speed</i> (put/min)	<i>Depth of cut</i> (mm)	
<i>Surface Rough Pocket</i>	<i>Zig-zag</i>	<i>Flat Endmill Ø 25</i>	611	3055	1	02:55:43
	<i>Constant Overlap Spiral</i>					03:04:14
	<i>Parallel Spiral</i>					02:58:49
	<i>Parallel Spiral Clean Corner</i>					03:11:44
	<i>High Speed</i>					02:57:12
	<i>True Spiral</i>					04:08:04
	<i>One Way</i>					03:54:57
	<i>Morph Spiral</i>					04:23:18

Tabel 4. 9 Hasil Analisa Durasi *Toolpath Surface Finish Contour (TOP Face)*

<i>Toolpath</i>	<i>Cutting Method</i>	<i>Tool</i>	Parameter			<i>Time</i>
			<i>Feed Rate</i> (mm/min)	<i>Spindle Speed</i> (put/min)	<i>Depth of cut</i> (mm)	
<i>Surface Finish Contour</i>	<i>One Way - High Speed</i>	<i>Bull Endmill Ø 25- CR5</i>	764	3820	0.25	02:11:55
	<i>One Way - Broken</i>					02:15:55
	<i>One Way - Ramp</i>					03:15:58
	<i>One Way - Follow Surface</i>					02:15:55
	<i>Zig-zag - High Speed</i>					01:49:35
	<i>Zig-zag - Broken</i>					01:54:36
	<i>Zig-zag - Ramp</i>					01:53:26
	<i>Zig-zag - Follow Surface</i>					01:53:23

Tabel 4. 10 Hasil Analisa Durasi *Toolpath Surface Finish Blend (TOP Face)*

<i>Toolpath</i>	<i>Cutting Method</i>	<i>Tool</i>	Parameter			<i>Time</i>
			<i>Feed Rate</i> (mm/min)	<i>Spindle Speed</i> (put/min)	<i>Depth of cut</i> (mm)	
<i>Surface Finish Blend</i>	<i>Zig-zag - Along 3D</i>	<i>Spher Endmill Ø 20</i>	611	3055	1	02:08:06
	<i>Zig-zag - Along 2D</i>					01:37:41
	<i>Zig-zag - Across</i>					01:25:45
	<i>One Way - Along 3D</i>					02:08:55
	<i>One Way - Along 2D</i>					01:38:23
	<i>One Way - Across</i>					02:23:34
	<i>Spiral - Along 3D</i>					02:08:57
	<i>Spiral - Along 2D</i>					01:38:26
	<i>Spiral - Across</i>					02:23:34

Tabel 4. 11 Hasil Analisa Durasi *Toolpath Contour 2D (TOP Face)*

<i>Toolpath</i>	<i>Cutting Method</i>	<i>Tool</i>	Parameter			<i>Time</i>
			<i>Feed Rate</i> (mm/min)	<i>Spindle Speed</i> (put/min)	<i>Depth of cut</i> (mm)	
<i>Contour 2D</i>	<i>Zig-zag - Along 3D</i>	<i>Spher Endmill Ø 20</i>	720	1500	2	0:29:37

Tabel 4. 12 Hasil Analisa Durasi *Toolpath Surface Rough Pocket(BOTTOM Face)*

<i>Toolpath</i>	<i>Cutting Method</i>	<i>Tool</i>	Parameter			<i>Time</i>
			<i>Feed Rate (mm/min)</i>	<i>Spindle Speed (put/min)</i>	<i>Depth of cut (mm)</i>	
<i>Surface Rough Pocket</i>	<i>Zig-zag</i>	<i>Flat Endmill Ø 25</i>	611	3055	1	03:07:14
	<i>Constant Overlap Spiral</i>					03:15:04
	<i>Parallel Spiral</i>					03:08:49
	<i>Parallel Spiral Clean Corner</i>					03:25:17
	<i>High Speed</i>					03:07:28
	<i>True Spiral</i>					04:30:00
	<i>One Way</i>					04:22:12
	<i>Morph Spiral</i>					04:54:32

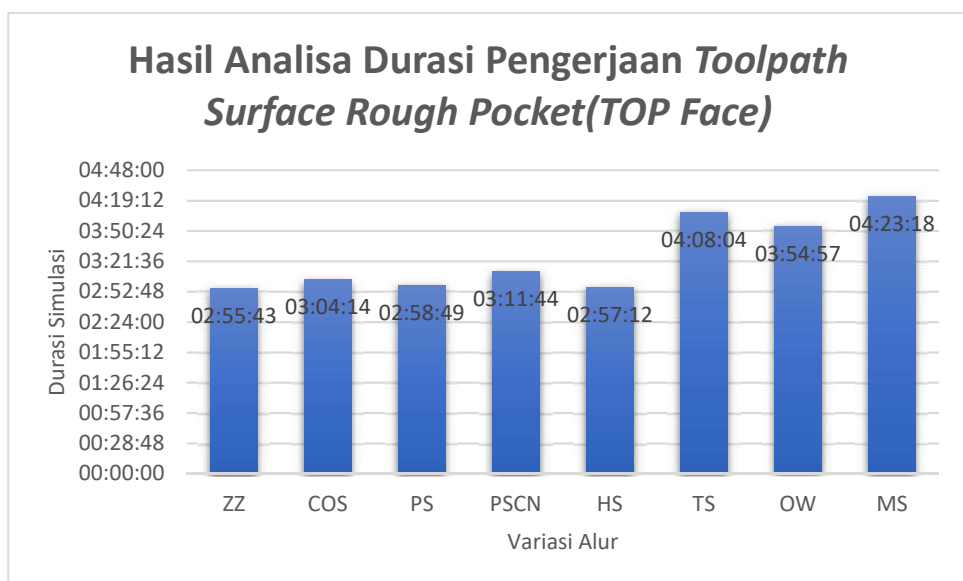
Tabel 4. 13 Hasil Analisa Durasi *Toolpath Surface Finish Contour(BOTTOM Face)*

<i>Toolpath</i>	<i>Cutting Method</i>	<i>Tool</i>	Parameter			<i>Time</i>
			<i>Feed Rate (mm/min)</i>	<i>Spindle Speed (put/min)</i>	<i>Depth of cut (mm)</i>	
<i>Surface Finish Contour</i>	<i>One Way - High Speed</i>	<i>Bull Endmill Ø 25-CR5</i>	764	3820	0.25	02:50:34
	<i>One Way - Broken</i>					02:48:52
	<i>One Way - Ramp</i>					02:48:56
	<i>One Way - Follow Surface</i>					02:48:52
	<i>Zig-zag - High Speed</i>					01:55:18
	<i>Zig-zag - Broken</i>					01:55:23
	<i>Zig-zag - Ramp</i>					01:54:14
	<i>Zig-zag - Follow Surface</i>					01:54:12

Tabel 4. 14 Hasil Analisa Durasi *Toolpath Surface Finish Blend(BOTTOM Face)*

<i>Toolpath</i>	<i>Cutting Method</i>	<i>Tool</i>	Parameter			<i>Time</i>
			<i>Feed Rate</i> (mm/min)	<i>Spindle Speed</i> (put/min)	<i>Depth of cut</i> (mm)	
<i>Surface Finish Blend</i>	<i>Zig-zag - Along 3D</i>	<i>Spher Endmill Ø 20</i>	764	3820	1	01:48:41
	<i>Zig-zag - Along 2D</i>					01:24:45
	<i>Zig-zag - Across</i>					01:13:55
	<i>One Way - Along 3D</i>					01:53:16
	<i>One Way - Along 2D</i>					01:29:42
	<i>One Way - Across</i>					01:53:52
	<i>Spiral - Along 3D</i>					01:53:06
	<i>Spiral - Along 2D</i>					01:29:39
	<i>Spiral - Across</i>					01:53:52

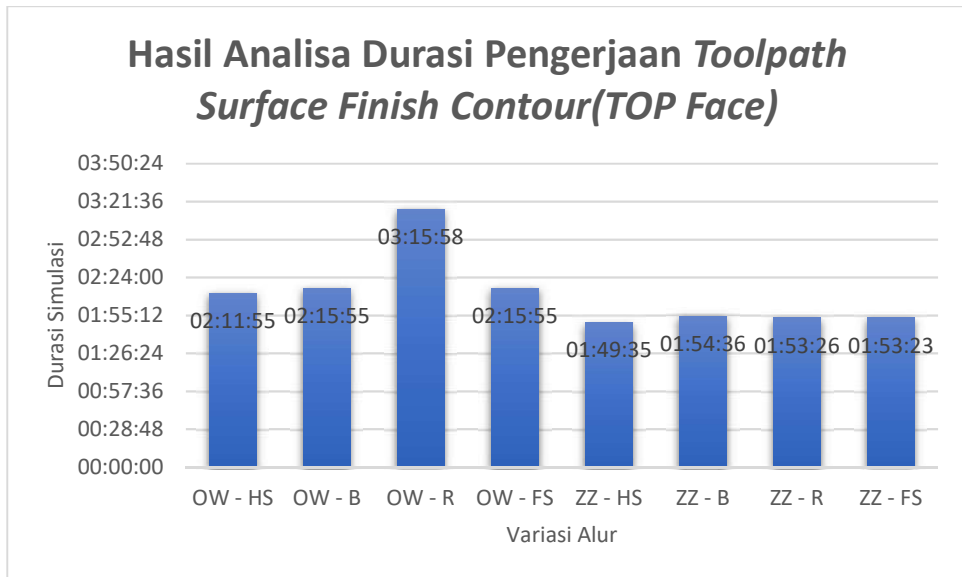
Setelah hasil Analisa durasi pengerjaan masing-masing *Toolpath* dengan berbagai variasi alur lintasan pahat didapatkan, berikutnya dipilih 1 alur pengerjaan dengan durasi waktu paling optimal.



Gambar 4. 30 Grafik durasi Pengerjaan *Surface Rough Pocket (TOP Face)*

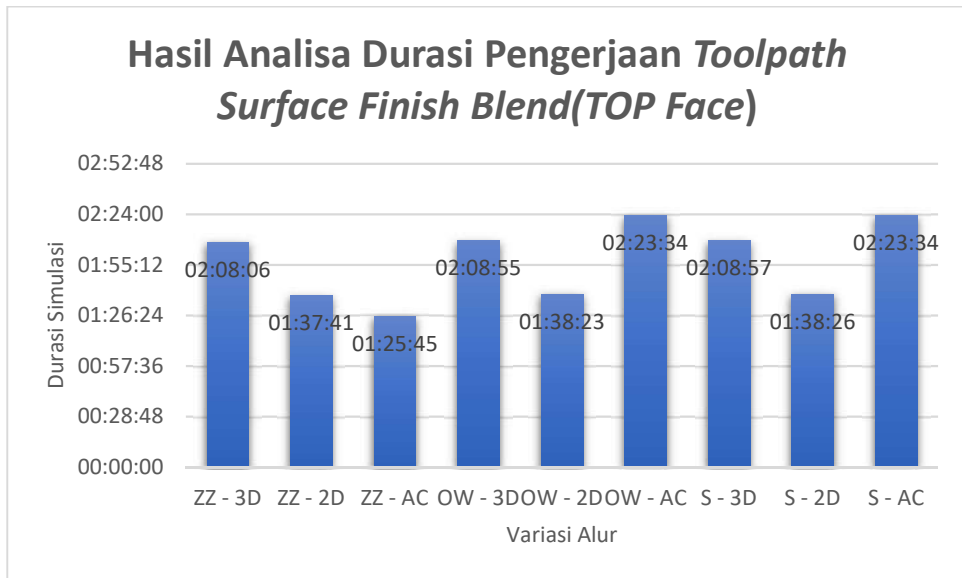
Dari gambar 4.30 terlihat sebuah grafik yang menerangkan tentang hasil Analisa durasi pada pengerjaan *Toolpath Surface Rough Pocket (TOP Face)*

) dengan beberapa variasi alur lintasan pahat. Dapat disimpulkan bahwa pada simulasi *Toolpath* tersebut didapatkan durasi dengan waktu paling singkat yaitu 2:55:43 pada jenis alur *Zig-zag*.



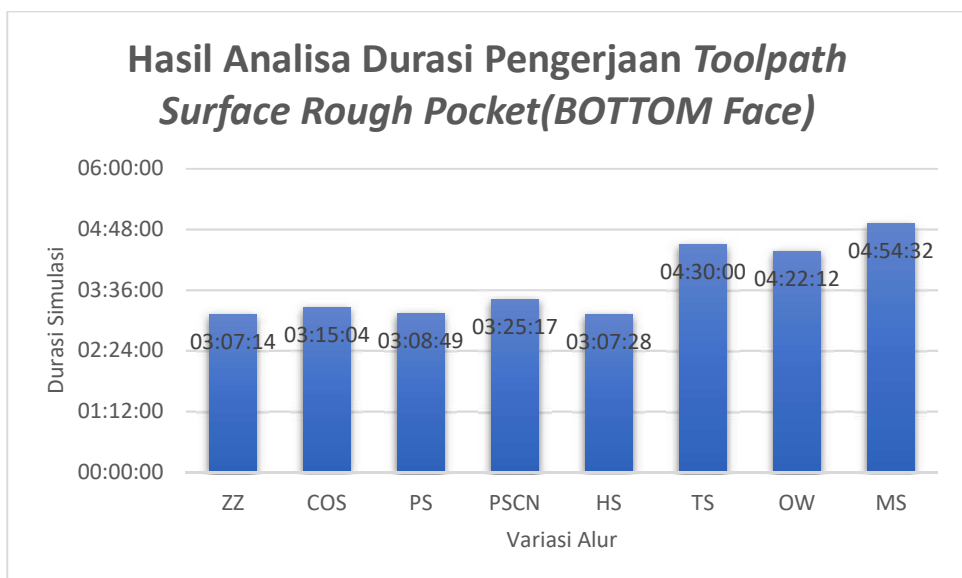
Gambar 4. 31 Grafik durasi Pengerjaan *Surface Finish Contour (TOP Face)*

Pada gambar 4.31 terlihat grafik yang menunjukkan hasil Analisa durasi pengerjaan *Toolpath Surface Finish Contour (TOP Face)* dengan beberapa variasi alur lintasan pahat. Dapat disimpulkan bahwa pada simulasi *Toolpath* tersebut didapatkan durasi dengan waktu paling singkat yaitu 1:49:35 pada jenis alur *Zig-zag – High Speed*.



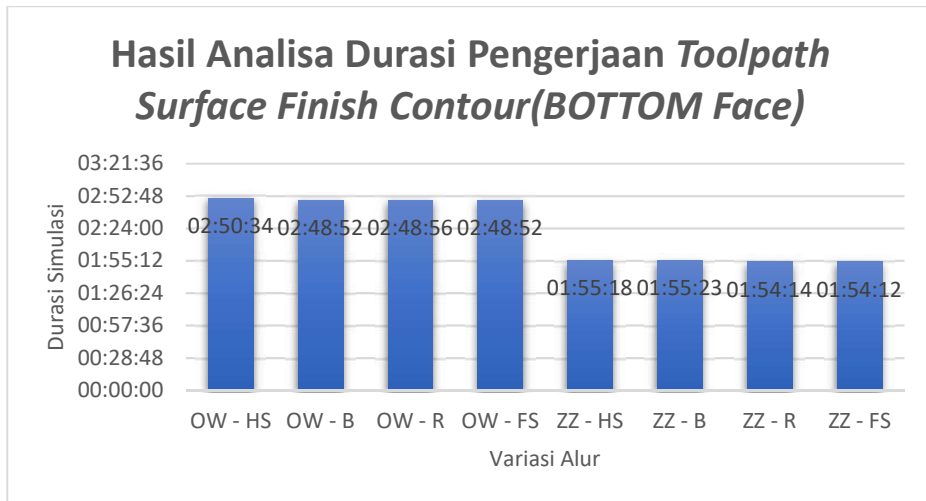
Gambar 4. 32 Grafik durasi Pengerjaan *Surface Finish Blend (TOP Face)*

Gambar 4.32 adalah hasil simulai *Surface Finish Blend (TOP Face)* dengan *output* waktu pada berbagai variasi alur jalan pahat. Disimpulkan bahwa pada *Toolpath* ini durasi waktu paling singkat adalah pada alur *Zig-zag – Across* dengan waktu 1:25:45.



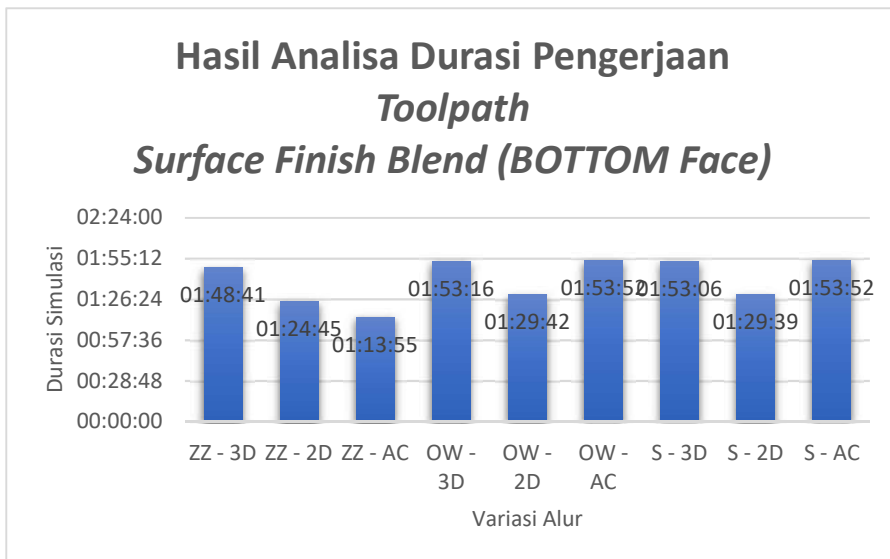
Gambar 4. 33 Grafik durasi Pengerjaan *Surface Rough Pocket(BOTTOM Face)*

Gambar 4.33 merupakan grafik durasi waktu pengerjaan *Toolpath Surface Rough Pocket(BOTTOM Face)*. Dari hasil yang didapatkan, diketahui bahwa alur *Zig-zag* memiliki durasi waktu paling optimal yaitu 3:07:14.



Gambar 4. 34 Grafik durasi Pengerjaan *Surface Finish Contour (BOTTOM Face)*

Gambar 4.34 menunjukkan hasil simulasi Pengerjaan *Surface Finish Contour (BOTTOM Face)* dengan berbagai variasi jalan pahat. Alur yang memiliki waktu paling optimal adalah *Zig-zag Follows Surface*, dengan waktu pengerjaan 1:54:12.



Gambar 4. 35 Grafik durasi Pengerjaan *Surface Finish Blend (BOTTOM Face)*

Gambar 4.35 merupakan grafik waktu pengerjaan *Surface Finish Blend (BOTTOM Face)* dengan beberapa variasi jalan pahat. Alur dengan durasi waktu paling singkat adalah alur *Zig-zag Across* dengan waktu 1:13:55.

Dari hasil simulasi dan grafik, didapatkan jenis pengerjaan dengan waktu paling optimal. Dari ke 7 *Toolpath*, tiap-tiap waktu yang optimal dijumlahkan untuk mendapatkan waktu total pengerjaan. Dapat dilihat pada tabel 4.15

Tabel 4. 15 Total waktu pengerjaan *Blade propeller* pada MasterCam

<i>Toolpath</i>	<i>Cutting Method</i>	<i>Tool</i>	<i>Parameter</i>			<i>Time</i>
		Type	<i>Feed Rate</i>	<i>Spindle Speed</i>	<i>Depth of cut</i>	
<i>Surface Rough Pocket</i>	<i>Zig-zag</i>	<i>Flat Endmill Ø 25</i>	611	3055	1	02:55:43
<i>Surface Finish Contour</i>	<i>Zig-zag - High Speed</i>	<i>Bull Endmill Ø 20 CR5</i>	764	3820	0.25	01:49:35
<i>Surface Finish Blend</i>	<i>Zig-zag - Across</i>	<i>Spher Endmill Ø20</i>	611	3055	1	01:25:45
<i>Contour 2D</i>	<i>Contour Follows 2D</i>	<i>Flat Endmill Ø5</i>	720	1500	2	00:29:37
<i>Surface Rough Pocket</i>	<i>Zig-zag</i>	<i>Flat Endmill Ø25</i>	611	3055	1	03:07:14
<i>Surface Finish Contour</i>	<i>Zig-zag - Follow Surface</i>	<i>Bull Endmill Ø20 - CR5</i>	764	3820	0.25	01:54:12
<i>Surface Finish Blend</i>	<i>Zig-zag - Across</i>	<i>Spher Endmill Ø20</i>	764	3055	1	01:13:55
TOTAL TIME						12:56:01

Jadi waktu total proses simulasi pada MasterCam adalah 12:56:01. Waktu ini belum keseluruhan waktu proses produksi. Keseluruhan waktu total produksi *Blade Controllable Pitch Propeller* akan dibahas lebih lanjut pada subbab berikutnya.

4.5. Validasi Pengerjaan

Pada tahap validasi ini membahas mengenai tingkat kevalidan dari perhitungan total waktu pada *Software* MasterCam. Hasil dari durasi waktu tiap-tiap *Toolpath* akan di bandingkan dengan hasil perhitungan waktu dengan menggunakan rumus. Rumus yang dipakai untuk menghitung waktu permesinan adalah persamaan 4-4 sebagai berikut:

$$t = \frac{L}{F}$$

Dimana :

t = Waktu penyayatan (menit)

L = Panjang penyayatan (mm)

Nilai kevalidan dari simulasi di MasterCam dapat dihitung dengan menentukan nilai *error* atau penyimpangan hasil simulasi dengan rumus. *Error* dinyatakan diterima jika presentasenya kurang dari 100%. *Error* dapat dihitung dengan rumus :

$$E = \frac{|X_p - X_s|}{X_p} \times 100\% \dots \dots \dots (4-5)$$

Dimana :

E = Nilai *error*/penyimpangan (%)

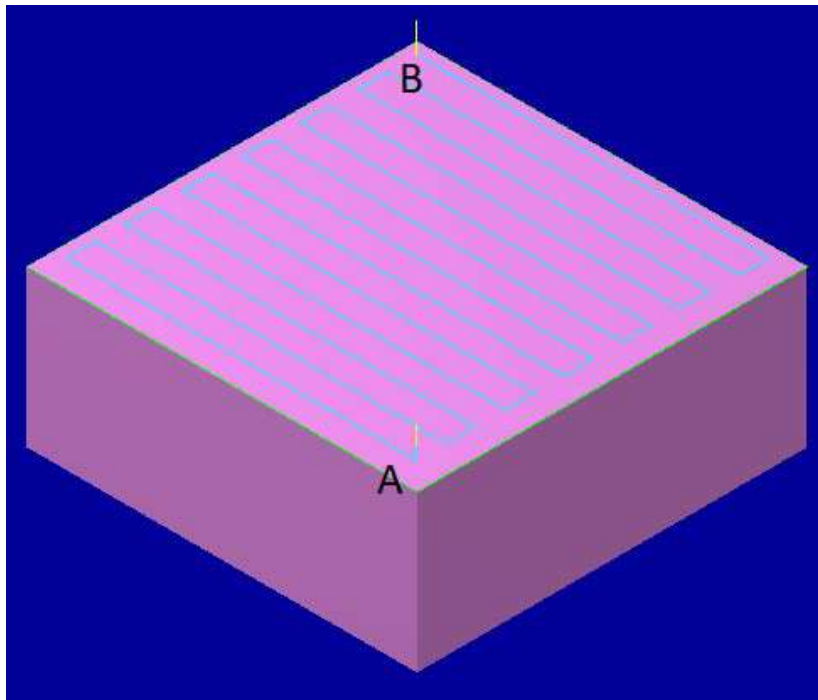
X_p = Nilai waktu perhitungan (menit)

X_s = Nilai waktu simulasi di MasterCam (menit)

Sebelum menghitung waktu pengerjaan terlebih dahulu menghitung kevalidan dari panjang lintasan penyayatan dari simulasi. Untuk menghitung kevalidan dari panjang penyayatan dapat menggunakan simulasi lain yang lebih sederhana, kemudian dihitung panjang penyayatannya secara manual dengan melihat pada kode G-nya. Nilai koordinat X, Y, dan Z pada kode G dijumlahkan untuk mendapatkan total Panjang penyayatan.

4.5.1. Validasi Panjang Lintasan Penyayatan

Dengan simulasi MasterCam yang sederhana dapat dihitung panjang lintasan yang sebenarnya. Gambar 4.35 merupakan gambar lintasan pahat yang sederhana untuk memudahkan perhitungan.



Gambar 4. 36 Simulasi sederhana jalan pahat

Dari gambar 4.36 dapat dilihat alur jalan pahat dimulai dari A ke B dengan parameter sebagai berikut:

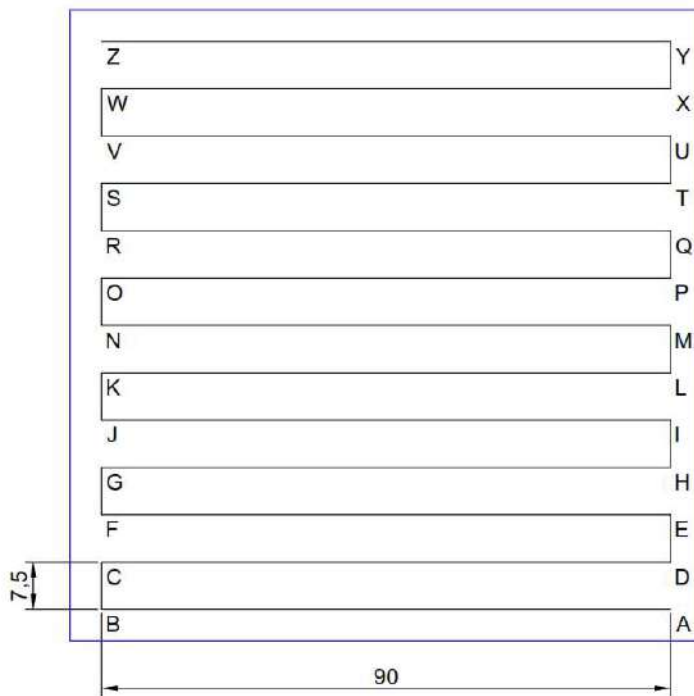
<i>Feed Rate</i>	: 200 mm/menit
<i>Plunge rate</i>	: 100 mm/menit
<i>Retract rate</i>	: 190.9 mm/menit
<i>Diameter Tool</i>	: 10 mm
<i>Step-over distance</i>	: 7.5 mm
<i>Depth of cut</i>	: 2 mm
<i>Clearance</i>	: 50 mm
<i>Feed plane</i>	: 5 mm

Dengan input parameter yang telah ditentukan, didapatkan *output* berupa kode G atau kode pengerjaan untuk mesin CNC. Kode ini memuat informasi pengerjaan dan pergerakan pahat. Kode G dari gambar 4.36 dapat dilihat pada tabel 4.16.

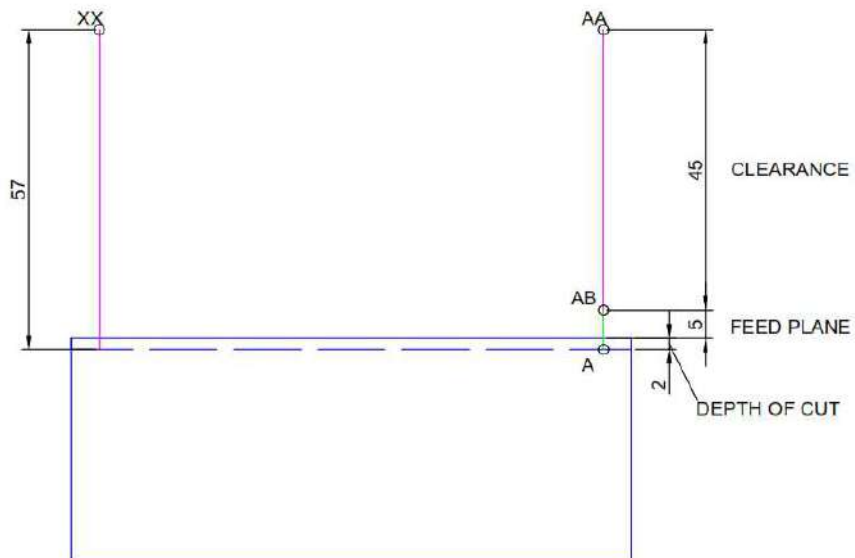
Tabel 4. 16 kode G simulasi pengerjaan

Kode G	
N G21	N18 Y50.
N1 G0 G17 G40 G49 G80 G90	N19 X5.
N2 T219 M6	N20 Y57.5
N3 G0 G90 G54 X95. Y5. A0. S2000 M3	N21 X95.
N4 G43 H0 Z50.	N22 Y65.
N5 Z5.	N23 X5.
N6 G1 Z-2. F100.	N24 Y72.5
N7 X5. F200.	N25 X95.
N8 Y12.5	N26 Y80.
N9 X95.	N27 X5.
N10 Y20.	N28 Y87.5
N11 X5.	N29 X95.
N12 Y27.5	N30 Y95.
N13 X95.	N31 X5.
N14 Y35.	N32 G0 Z50.
N15 X5.	N33 M5
N16 Y42.5	N34 G91 G28 Z0.
N17 X95.	N35 G28 X0. Y0. A0.
	N36 M30

Dari tabel 4.16 kode G tersebut menggunakan sistem *absolute* dimana titik referensi atau titik nol pahat adalah tetap. Jadi jika dari tabel 4.15 di gambarkan dalam suatu titik koordinat adalah seperti gambar 4.36 dan 4.37.



Gambar 4. 37 Gambar koordinat langkah penyayatan tampak depan



Gambar 4. 38 Gambar koordinat langkah penyayatan tampak atas

Mengacu pada gambar 4.37 dan 4.38 didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L_{axial} &= (A'B + B'C) \times 12 + Y'Z \\ &= (90 + 7.5) \times 12 + 90 \\ &= 1260 \text{ mm} \end{aligned}$$

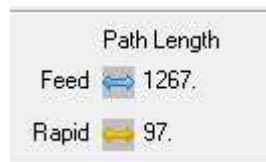
$$\begin{aligned} L_{clearance} &= AA'AB + XX \\ &= 45 + 52 \\ &= 97 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{plunge} &= AB'A \\ &= 5 + 2 \\ &= 7 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{total} &= L_{axial} + L_{plunge} \\ &= 1260 + 7 \\ &= 1267 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$L_{rapid} = 97 \text{ mm}$$

Jadi dari perhitungan didapatkan nilai panjang total penyayatan adalah 1267 mm dan Panjang *rapid/retrack*-nya adalah 97mm. untuk hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.38.



Gambar 4. 39 panjang simulasi penyayatan

Dari gambar 4.39 didapatkan feed 1267 dan rapid 97. Untuk membuktikan kevalidannya maka perlu dihitung erornya yaitu :

$$\begin{aligned} E &= \frac{|Xp - X|}{Xp} \times 100\% \\ &= \frac{|1267 - 1267|}{1267} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

Diperoleh nilai *error* yaitu 0%. Hal ini membuktikan bahwa perhitungan panjang penyayatan pada *Software* MasterCam adalah valid.

4.5.2. Validasi Waktu Pengerjaan pada MasterCam

Setelah dilakukan validasi terhadap hasil simulasi panjang penyayatan, selanjutnya dihitung nilai error durasi waktu dengan rumus terhadap hasil simulasi. Persamaan 4-4 merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung total waktu simulasi :

$$t = \frac{L}{F}$$

Dimana :

t = Waktu penyayatan (menit)

L = Panjang penyayatan (mm)

L atau panjang penyayatan didapat dari simulasi di MasterCam pada tiap tiap *Toolpath*nya. Dari hasil simulasi diperoleh panjang penyayatan tiap-tiap *Toolpath* pada tabel 4.17.

Tabel 4. 17 Panjang simulasi penyayatan pada MasterCam

Face	Toolpath	L feed(mm)	L rapid(mm)	Feed Rate	Retrack rate
TOP	Surface Rough Pocket	99402.251	35368.167	611	5000
	Surface Finish Contour	63923.581	44584.584	764	5000
	Surface Finish Blend	52349.589	45.008	611	5000
	Contour 2D	21232.464	92	720	305.56
BOTTOM	Surface Rough Pocket	108102.956	19169.577	611	5000
	Surface Finish Contour	66577.529	32811.465	764	5000
	Surface Finish Blend	56477.921	0	764	5000

Contoh perhitungan waktu pengerjaan *Surface Rough Pocket* :

Diketahui : L feed = 99402.251 mm
 F rate = 611 mm/menit
 L rapid = 35368.167 mm

$$F \text{ retrack} = 5000 \text{ mm/ menit}$$

Dicari :
 a. t_{feed} ?
 b. t_{rapid} ?
 c. t_{total} ?

$$\begin{aligned} \text{jawab : a. } t_{\text{feed}} &= L_{\text{feed}} / F_{\text{rate}} \\ &= 99402.251 / 611 \\ &= 162.688 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } t_{\text{rapid}} &= L_{\text{rapid}} / F_{\text{retrack}} \\ &= 35368.167 / 5000 \\ &= 7.074 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } t_{\text{total}} &= t_{\text{feed}} + t_{\text{rapid}} \\ &= 161.688 + 7.074 \\ &= 169.7614 \text{ menit} \sim 2:49:46 \end{aligned}$$

Tabel 4. 18 Perbandingan waktu hitungan dan waktu simulasi

<i>Face</i>	<i>Toolpath</i>	<i>t_{feed}</i>	<i>t_{rapid}</i>	<i>t_{total}</i> <i>hitungan</i>	<i>t simulasi</i>
<i>TOP</i>	<i>Surface Rough Pocket</i>	162.688	7.074	169.761	175.717
	<i>Surface Finish Contour</i>	83.670	8.917	92.587	109.583
	<i>Surface Finish Blend</i>	85.679	0.009	85.688	85.750
	<i>Contour 2D</i>	29.490	0.301	29.791	29.617
<i>BOTTOM</i>	<i>Surface Rough Pocket</i>	176.928	3.834	180.762	187.233
	<i>Surface Finish Contour</i>	87.143	6.562	93.706	114.200
	<i>Surface Finish Blend</i>	92.435	0.000	92.435	73.917

Setelah mendapat nilai waktu hitungan dan simulasi, setelah itu dihitung nilai errornya untuk *Toolpath Surface Rough Pocket TOP face* sebagai berikut :

$$E = \frac{|Xp - Xs|}{Xp} \times 100\%$$

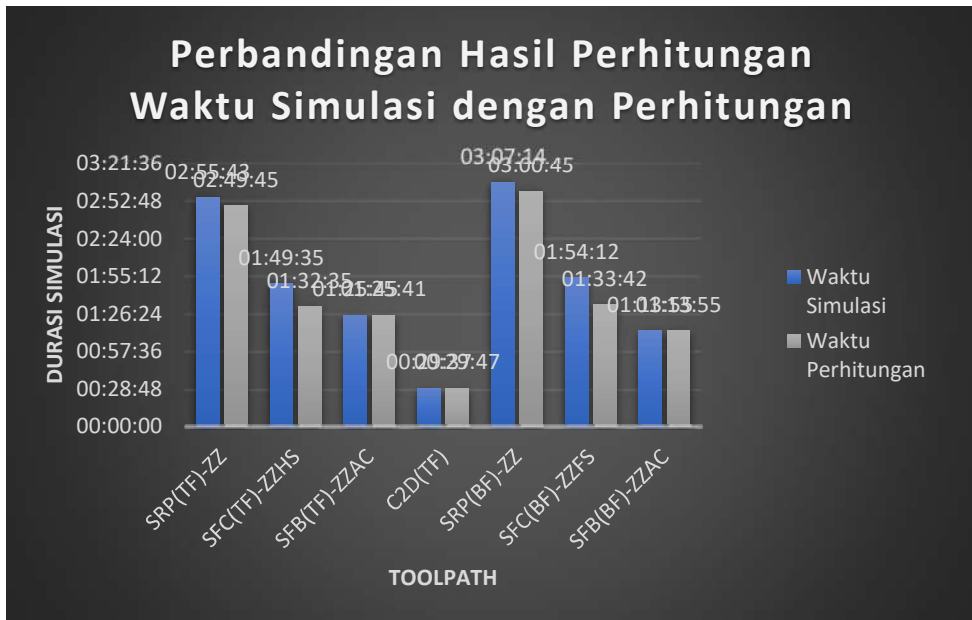
$$= \frac{|169.761 - 175.717|}{169.761} \times 100\%$$

$$= 3.508 \%$$

Tabel 4. 19 Nilai error antara waktu simulasi dan waktu hitungan

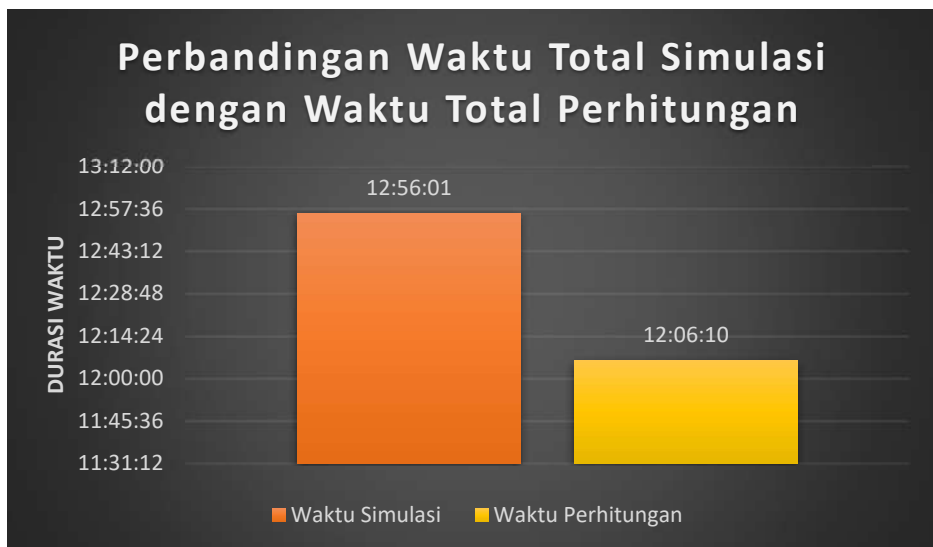
<i>Face</i>	<i>Toolpath</i>	t hitungan (menit)	t simulasi (menit)	t hitungan	t simulasi	error
TOP	<i>Surface Rough Pocket</i>	169.761	175.717	02:49:45	02:55:43	3.508%
	<i>Surface Finish Contour</i>	92.587	109.583	01:32:35	01:49:35	18.358%
	<i>Surface Finish Blend</i>	85.688	85.750	01:25:41	01:25:45	0.073%
	Contour 2D	29.791	29.617	00:29:47	00:29:37	0.584%
BOTTOM	<i>Surface Rough Pocket</i>	180.762	187.233	03:00:45	03:07:14	3.580%
	<i>Surface Finish Contour</i>	93.706	114.200	01:33:42	01:54:12	21.871%
	<i>Surface Finish Blend</i>	73.924	73.917	01:13:55	01:13:55	0.010%

Error pada tabel 4.19 merupakan perbandingan antara waktu yang dihasilkan dari simulasi MasterCam dan perhitungan teoritisnya. Dengan mengetahui nilai *error* berkisar dibawah 5% dan dengan 2 hasil berkisar antara 20% dapat diambil kesimpulan bahwa pengerjaan *Blade CPP* pada simulasi MasterCam dapat digunakan sebagai tolak ukur perhitungan waktu pada pengerjaan di mesin CNC yang sesungguhnya.



Gambar 4. 40 Grafik perbandingan Waktu simulasi dengan waktu hasil perhitungan

Pada gambar 4.40 terlihat grafik perbandingan waktu hasil simulasi dengan MasterCam dengan waktu hasil perhitungan teoritis. Dari grafik tersebut terlihat nilai waktu perhitungan selalu di bawah nilai waktu simulasi. Hal ini menegaskan bahwa dalam pengerjaannya di mesin CNC sesungguhnya, akan ada eror-eror yang membuat menambah waktu pengerjaan.



Gambar 4. 41 Grafik perbandingan waktu total simulasi dengan perhitungan

Pada gambar 4.41 menunjukkan perbandingan dari waktu total hasil simulasi MasterCam dengan waktu total hasil perhitungan. Harga *error* untuk waktu total tersebut adalah 6.865% menunjukkan bahwa waktu hasil simulasi tersebut bisa untuk dijadikan acuan perhitungan waktu pada mesin CNC sebenarnya.

4.6. Perhitungan Waktu Total Produksi

Parameter-parameter yang perlu dipertimbangkan dalam perhitungan waktu total proses produksi antara lain :

1) Waktu yang meliputi variabel proses

- Waktu pemasangan benda kerja(t_a)

Waktu pemasangan benda kerja meliputi pemasangan awal benda dan proses pembalikan benda. Selain memasang benda pada ragum, dilakukan juga pengaturan kesejajaran permukaan benda, agar hasil permesinan tidak miring/menyudut, biasanya menggunakan alat ukur *Dial Indicator*. Dapat diasumsikan waktu pemasangan benda @20 menit, jadi untuk dua kali pemasangan menjadi 40 menit.

- Waktu penentuan *Zero Point Tools*(t_b)

Zero point tools merupakan penentuan titik acuan benda atau titik awal benda kerja. Untuk *zero point tool* biasanya menggunakan *tool centre*. Nilai *zero point tool* untuk masing-masing pahat berbeda, jadi masing-masing pahat harus diatur sendiri-sendiri. Penentuan **zero point tool** diasumsikan @10 menit. Pengerjaan *Blade CPP* ini menggunakan 4 variasi *tool* jadi waktu total *zero point* adalah 40 menit

- Waktu pemotongan(t_c)

Waktu pemotongan didapat dari hasil simulasi MasterCam yang telah di validasi. Waktu pemotongan benda kerja dapat dilihat pada gambar 4.41, yaitu sebesar 12j:45m:38d atau 765.633 menit.

Details		Info
Cycle Time		
Feed		12h:45m:37.89s
Rapid		10m:23.86s
Total		12h:56m:1.75s
Path Length		
Feed		468066.291
Rapid		132070.801
Min/Max		
X	-66.008	62.919
Y	-7.561	137.5
Z	-86.	2.
Min/Max Feedrate		
	305.	764.

Gambar 4. 42 *Cycle Time* simulasi pengerjaan di MasterCam

- Waktu pergantian pahat(t_t)

Merupakan waktu transisi dari *Toolpath* satu ke *Toolpath* selanjutnya yang berbeda jenis pahat. Untuk jenis mesin CNC yang memiliki magazine atau tempat pergantian pahat otomatis, maka nilainya relative singkat sekitar 1 menit tiap transisi. Jadi untuk 6 transisi membutuhkan waktu 6 menit.

2) Komponen waktu bebas(t_s)

Komponen waktu bebas merupakan waktu non produktif saat pengerjaan benda. Yaitu waktu gerak pahat tanpa menyayat termasuk waktu awal mulai pengerjaan dan akhir pengerjaan. Waktu ini dapat dilihat pada gambar 4.42 yaitu *cycle Time* untuk *rapid* yaitu sebesar 10m:24d atau 10.40 menit.

3) Waktu permesinan rata-rata(t_m)

Merupakan jumlah waktu dari komponen waktu proses, dan komponen waktu bebas. Dari persamaan 2-1 maka didapat :

$$\begin{aligned}
 t_m &= t_a + t_b + t_c + t_t + t_s \quad \text{menit} \\
 &= 40 + 40 + 765.633 + 6 + 10.4 \\
 &= 862.033 \quad \text{menit} \\
 &= 14\text{j}:22\text{m}:02\text{d}
 \end{aligned}$$

Jadi waktu total proses produksi *Blade Controllable Pitch Propeller* adalah **14j:22m:02d**. Waktu tersebut digunakan untuk dasar perhitungan daya dan biaya produksi.

4.7. Perhitungan Biaya Total Produksi

Perhitungan biaya produksi *Blade Controllable Pitch Propeller* meliputi :

A. Biaya Material (C_m)

Material yang digunakan adalah aluminium dural seri 70 dengan ukuran 135x120x85 mm³. Harga per kilogramnya Rp. 90000,- untuk ukuran tebal kurang dari 100 mm dengan panjang dan lebar sesuai permintaan. Diketahui massa jenis aluminium adalah 2712 kg/m³ jadi massa dari benda kerja dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$\rho = \frac{m}{V}, m = \rho \times V \dots \dots \dots (4-6)$$

6)

dimana : ρ = massa jenis, kg/m³
 m = massa, kg
 V = volume, m³

$$\begin{aligned} \rho_{al} &= 2712 && \text{kg/m}^3 \\ V_{al} &= 135 \times 120 \times 85 && \text{mm}^3 \\ &= 1377000 && \text{mm}^3 \\ &= 1.377 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{al} &= \rho_{al} \times V_{al} \\ &= 2712 \times 1.377 \times 10^{-3} \\ &= 3.7344 \text{ kg} \end{aligned}$$

Biaya material dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \text{Harga material}(C_m) &= \text{harga per kg} \times \text{massa} \\ &= 90000 \times 3.7344 \\ &= \text{Rp. 336098,-} \sim \text{Rp. 337.000,-} \end{aligned}$$

B. Biaya Proses

Biaya tetap setahun

Biayanya meliputi biaya mesin, peralatan dan biaya pahat. Lihat tabel 4.20.

Tabel 4. 20 Harga mesin dan peralatan

Mesin/peralatan	Harga
<i>Flat Endmill Carbide Ø5mm</i>	162.048
<i>Flat Endmill Carbide Ø25mm</i>	1.638.201
<i>Bull Endmill Carbide Ø20mm</i>	1.346.225
<i>Sphere Endmill Carbide Ø20mm</i>	1.346.225
Mesin CNC LEADWELL MV. 610	307.142.857
Total Harga, C_{ob}	311.635.556

Dalam menentukan biaya tetap pertahun menggunakan persamaan 2-2:

$$C_f = C_{ob} \left\{ \frac{1}{y} + \frac{y+1}{2y} I_{pti} \right\}$$

Dimana : C_f = Biaya tetap pertahun
 C_{ob} = harga peralatan mesin
 y = waktu penyusutan
 I_{pti} = Bunga-pajak-asuransi

Jika ditentukan periode penyusutan peralatan permesinan $y=20$ tahun dan nilai bunga-pajak-asuransi $I_{pti} = 20\%$. Maka didapat:

$$\begin{aligned} C_f &= 311.714.2857 \left\{ \frac{1}{20} + \frac{20+1}{2 \cdot 20} 0,2 \right\} \\ &= \text{Rp. } 48.303.511,- \text{ per tahun} \end{aligned}$$

C. Biaya Permesinan

Biaya permesinan berkaitan dengan daya yang dihasilkan pada proses pengerjaan benda. Daya total yang digunakan selama proses *milling* adalah jumlah daya yang diperlukan oleh pahat pemotong dan daya yang hilang ke mesin. Laju penghasilan beram (*Material Removed Rate*) untuk *milling* dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{MRR} = W \cdot H \cdot F \dots \dots \dots (4-7)$$

MRR = Material removed rate, mm³/menit

W = Width of cut, mm

H = *Depth of cut*, mm

F = *Feed Rate*, mm/menit

Perhatikan bahwa lebar maksimum potongan adalah sama dengan diameter alat potong(*cutter*) jika *cutter* bersinggungan penuh dengan benda kerja. Namun, dalam kebanyakan kasus untuk frais muka(*Face milling*) jumlah *cutter engagement* adalah sekitar 0.6-0.8 dari diameter *cutter*. dengan demikian, lebar potongan yang digunakan untuk menghitung laju penghasilan beram merupakan lebar sesungguhnya dari sudut pemotongan *cutter*. daya yang dibutuhkan pada pemotong adalah:

$$\text{HP}_c = \text{MRR} \cdot \text{UHP} \dots \dots \dots (4-8)$$

HP_c = Daya spindel, hp

UHP = Unit Horse Power, hp/ in³/menit

Nilai MRR dapat dihitung mengacu pada tabel 4.7. Input nilai *depth of cut* dan width of cut dan *Feed Rate* untuk tiap-tiap jenis pahat. Nilai UHP untuk pahat *Endmill Carbide- steel* BHN 300 dapat dilihat pada gambar 4.42.

Material	UHP	Material	UHP
Magnesium	0.25	Stainless	
Aluminum	0.25	Free machining	1.0
Copper	0.5	Other	1.7
Brass	0.4	Titanium	
Bronze	0.5	Under 100,000 psi	1.3
Malleable iron	1.0	100,000–135,000 psi	1.7
Cast iron		135,000 and over	2.5
Ferrite	0.7	High-tensile alloys	
Pearlitic	1.0	180,000–220,000 psi	2.0
Chilled	0.7	220,000–260,000 psi	2.5
Steel		260,000–300,000 psi	3.3
Up to 150 BHN	1.4	High-temperature alloys	
✓300 BHN	1.7	Ferritic low alloys	1.7
400 BHN	2.0	Austenitic alloys	2.0
500 BHN	2.5	Nickel-based alloys	2.5
		Cobalt-based alloys	2.5

Unit horsepower for milling.

Gambar 4. 43 Nilai *Unit Horsepower* untuk berbagai material pahat

Contoh perhitungan HP_c untuk pahat Flat *Endmill Carbide steel* 300 BHN mengacu pada tabel 4.6 dan 4.7 dan gambar 4.43 didapat:

$$\begin{array}{ll} F & = 720 \text{ mm/menit} & \text{UHP} & = 1.7 \text{ hp/ in}^3/\text{menit} \\ H & = 2 \text{ mm} & W & = 3 \text{ mm} \\ \text{Eff} & = 60\% \end{array}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } \text{MRR} &= H \cdot W \cdot F \\ &= 2 \cdot 3 \cdot 720 \\ &= 4320 \text{ mm}^3/\text{menit} \\ &= 0,2636226 \text{ in}^3/\text{menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HP}_c &= \text{MRR} \cdot \text{UHP} \\ &= 0,2636 \cdot 1.7 \\ &= 0,448 \text{ hp} \\ &= 0.3351 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HP}_m &= \text{HP}_c / \text{eff} \\ &= 0,448 / 0,6 \\ &= 0,7466 \text{ hp} \\ &= 0.5585 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4. 21 Data hasil perhitungan HP_c HP_m dan KWH

Jenis Pahat	MRR(mm ³ /min)	HP _c (kW)	HP _m (kW)	Time Cycle (jam)	KWH
<i>Flat Endmill</i> Ø 5	4320	0.3351	0.5585	0.4936	0.2757
<i>Flat Endmill</i> Ø 25	9928.75	0.7701	1.2836	6.0492	7.7645
<i>Spher Endmill</i> Ø 20	1222	0.0948	0.1580	2.6611	0.4204
<i>Bull Endmill</i> Ø 20-CR5	191	0.0148	0.0247	3.7297	0.0921
Total					8.5527

Harga daya untuk mesin CNC 20kVA adalah Rp. 1352,-. Per kWh
Maka besarnya biaya per menit yaitu :

$$\begin{aligned}\text{Biaya/menit} &= (\text{Kwh} \times \text{harga})/60 \dots\dots\dots(4-9) \\ &= 8,5527 \times 1352 / 60 \\ &= \text{Rp. 193/menit}\end{aligned}$$

Untuk menghitung besarnya biaya daya pertahun maka perlu dilakukan perhitungan tentang kerja efektif(J). Dalam 1 minggu ada 5 hari kerja aktif dengan 8 jam tiap harinya dan ada 50 minggu per tahunnya. Maka :

$$J = M \times H \times Ja \times 60 \dots\dots\dots(4-10)$$

Dimana : M = jumlah minggu efektif dalam 1 tahun
H = Jumlah hari kerja dalam 1 minggu
Ja = Jumlah jam kerja dalam 1 hari

$$\begin{aligned}\text{Jadi } J &= 50 \times 5 \times 8 \times 60 \\ &= 120000 \text{ menit/tahun}\end{aligned}$$

Biaya daya pertahun merupakan perkalian dari J dengan biaya daya permenit, yaitu:

$$\begin{aligned}C_{\text{daya}} &= \text{Biaya/menit} \times J \dots\dots\dots(4-11) \\ &= 193 \times 120000 \\ &= \text{Rp. 23.160.000,- / tahun}\end{aligned}$$

Biaya pengoperasian CNC dilakukan oleh 1 orang operator dengan upah minimum regional(UMR) sebesar Rp 3.583.321,- perbulannya. Jadi untuk biaya operator pertahun adalah:

$$\begin{aligned}C_{\text{operator}} &= \text{UMR} \times 12 \\ &= 3583321 \times 12 \\ &= \text{Rp. 42.999.852} \sim \text{Rp. 43.000.000,-/tahun}\end{aligned}$$

D. Biaya Operasi

Biaya operasi mesin permenit(C_m) merupakan jumlah keseluruhan biaya proses, daya, dan biaya operator dibagi dengan kerja efektif dalam 1 tahun. Maka:

$$\begin{aligned}C_m &= (C_f + C_{\text{daya}} + C_{\text{operator}})/J \dots\dots\dots(4-12) \\ &= (48.303.511 + 23.160.000 + 43.000.000)/120000 \\ &= \text{Rp. 953,86/ menit}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan biaya operasi mesin permenit dapat dihitung biaya operasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_o &= C_m \times t_m \dots \dots \dots (4-13) \\ &= 953,86 \times 862,033 \\ &= \text{Rp. } 822.259,- \sim \text{Rp. } 822.300,- \end{aligned}$$

E. Biaya Produksi

Biaya produksi(C_u) merupakan biaya total proses pengerjaan *Blade Controllable Pitch Peopeller*. Biaya produksi dapat dihitung dengan persamaan 2-3 yaitu :

$$\begin{aligned} C_u &= C_m + C_o \\ &= 337.000 + 822.300 \\ &= \text{Rp. } 1.159.300,- \end{aligned}$$

Jadi biaya total produksi pengerjaan *Blade Controllable Pitch Peopeller* adalah sebesar **Rp. 1.159.300,-**.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pada hasil simulasi pengerjaan *Blade Controllable Pitch Propeller* pada MasterCam dengan beberapa variasi alur lintasan pahat dan perhitungan waktu total serta biaya produksinya, maka diperoleh kesimpulan yang menjawab tujuan masalah dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya sebagai berikut:

5.1. Kesimpulan

1. Dari simulasi yang telah dilakukan, didapatkan desain *Blade Cotrollable Pitch Propeller* dengan tipe *Kaplan 4* daun berdiameter 300mm berbahan aluminium dan memiliki *flange* berdiameter 80mm.
2. Pada simulasi pengerjaan *Blade Cotrollable Pitch Propeller* didapatkan alur pengerjaan yang paling optimal yaitu alur *Zig-zag* untuk *Toolpath Surface Rough Pocket*, *Zig-zag - High Speed* dan *Zig-zag - Follow Surface* untuk *Toolpath Surface Finish Contour*, *Zig-zag – Across* untuk *Toolpath Surface Finish Blend* dengan waktu total simulasi 12jam 56menit 1detik.
3. Dari hasil simulasi yang telah divalidasi dihitung waktu total proses produksi pengerjaan *Blade Cotrollable Pitch Propeller* yaitu sebesar 14jam 22menit 2detik.
4. Hasil total biaya pengerjaan *Blade Cotrollable Pitch Propeller* sebesar Rp. 1.159.300,-.

5.2. Saran

1. Untuk validasi waktu proses simulasi dapat dilakukan pada pengerjaan di mesin CNC sesungguhnya, supaya dapat dilihat waktu riilnya.
2. Sebagai perbandingan hasil total biaya produksi dan hasil performa *Blade* agar dapat diberikan pertimbangan langkah selanjutnya dapat menambahkan Analisa teknis dan ekomis pada pembahasannya.
3. Karena banyak material yang terbuang pada pengerjaan *Blade* ini, maka untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pembuatan desain untuk *Moulding Blade CPPnya*.
4. Untuk penelitian selanjutnya dapat membahas tentang acuan index daya dan biaya agar dapat digunakan sebagai pedoman penentuan biaya total proses produksi pada mesin CNC.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

DAFTAR PUSTAKA

- Amrullah, A. (2010). *Perancangan Optimasi Proses Produksi Blade Controllable Pitch Propeller Dengan Cnc* . Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Firmansyah, A. D. (2012). *Perancangan Controllable Pitch Propeller Pada Kapal Offshore Patroli Vessel 80 (OPV80)*.
- Hermanto, D. R. (2016). *Analisis Konsumsi Energi Listrik Pada Mesin Frais Universal Milko 12 Dengan Variasi Parameter Pemesinan*. Lampung: Universitas Lampung.
- I G.N.K. Yudhyadi, T. R. (2016). OPTIMASI PARAMETER PERMESINAN TERHADAP WAKTU PROSES PADA PEMROGRAMAN CNC MILLING DENGAN BERBASIS CAD/CAM. *Dinamika Teknik Mesin*, VI(1), 38-50.
- Iskandar, W. (2016). *Analisa Teoritis Kebutuhan Daya Mesin Bubut Gear Head Turret*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Rochim, T. (2007). *Proses pemesinan buku 4: proses gerinda* . Bandung: Institut Teknologi Bandung(ITB).
- Wijanarka, B. (2013). *Cadcam untuk Mesin Bubut dan Frais Menggunakan MasterCam 9 dan X3*. yogyakarta.
- hydrocompinc.com*. (n.d.). Retrieved juni 2018
- www.inventor.com*. (n.d.). Retrieved februari 2018
- www.Krugerpropeller.com*. (n.d.). Retrieved februari 2018
- www.mastercam.com/en-us*. (n.d.). Retrieved februari 2018

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

LAMPIRAN

5.0mm Square End Mill Long Length HTC 460-2200 2FL GP 30° Uncoated



Sale Price: \$11.25

Qty

1

Add To Cart

List Price: ~~\$12.50~~

Click on image to enlarge.

All items proudly made in the **USA!**

FREE SHIPPING on orders of \$200 or more!



Usually in stock, and ships within one day from Michigan. Call for availability.

Description Feeds & Speeds Manufacturer Re-sharpening

Description:

Carbide Square End Mill Long Length, 5.0mm x 25mm x 75mm, 2 Flute, Uncoated, General Purpose, 30° Helix

Dimensions: **DIA=5.0mm FL=25mm OAL=75mm SHK=5.0mm**

SKU: 460-2200

Brand: HTC

Series: HTC460

General Purpose

Diameter Information

Cutter Diameter: 0.1969 5.0mm

Diameter Tolerance: +.000" -.002"

OD Grind: Standard

Shank Information

Shank Diameter: 5.0mm

Shank Tolerance: +.0000" -.0005"

Weldon Flats: None

Length Information

Flute Length: 25mm

Neck Length: N/A

Over All Length: 75mm

Length Category: Long

Fluting Information

Number of Flutes: 2

Helix Angle: 30°

Flute Index: Constant

Cut: Right Hand

Spiral: Right Hand

Coating and End Configuration

Coating: Uncoated

End Type: Single End Square

Corner Radius: N/A

Corner Chamfer or Taper per Side: N/A

Materials Families: All (P, K, M, S, H, N)

25mm Square End Mill Standard Length HTC 952-4984 4 Flute GP 30° TiN



Sale Price: \$113.73

Qty

1

Add To Cart

List Price: ~~\$126.37~~

Click on image to enlarge.

All items proudly made in the **USA!**

FREE SHIPPING on orders of \$200 or more!



Usually in stock, and ships within one day from Michigan. Call for availability.

Description Feeds & Speeds Manufacturer Re-sharpening

Description:

Carbide Square End Mill Standard Length, 25.0mm x 38mm x 100mm, 4 Flute, TiN, General Purpose, 30° Helix

Dimensions: DIA=25.0mm FL=38mm OAL=100mm SHK=25.0mm

SKU: 952-4984

Brand: HTC

Series: HTC952

General Purpose

Diameter Information

Cutter Diameter: 0.9843 25.0mm

Diameter Tolerance: +.000" -.002"

OD Grind: Standard

Shank Information

Shank Diameter: 25.0mm

Shank Tolerance: +.0000" -.0005"

Weldon Flats: None

Length Information

Flute Length: 38mm

Neck Length: N/A

Over All Length: 100mm

Length Category: Standard

Fluting Information

Number of Flutes: 4

Helix Angle: 30°

Flute Index: Constant

Cut: Center Cutting Right Hand

Spiral: Right Hand

Coating and End Configuration

Coating: TiN

End Type: Single End Square

Corner Radius: N/A

Corner Chamfer or Taper per Side: N/A

Materials Families: All (P, K, M, S, H, N)

HTC 955-4787 20.0mm Ball End Mill Standard Length 4 Flute GP 30° Unc.



Sale Price: \$93.46 Qty

List Price: ~~\$103.84~~

[Add To Cart](#)



[Click on image to enlarge.](#)

All items proudly made in the **USA!**

FREE SHIPPING on orders of \$200 or more!



Usually in stock, and ships within one day from Michigan. Call for availability.

[Description](#) [Feeds & Speeds](#) [Manufacturer](#) [Re-sharpening](#)

Description:

Carbide Ball End Mill Standard Length, 20.0mm x 38mm x 100mm, 4 Flute, Uncoated, General Purpose, 30° Helix

Dimensions: DIA=20.0mm FL=38mm OAL=100mm SHK=20.0mm

SKU: 955-4787

Brand: HTC

Series: HTC955

General Purpose

Diameter Information

Cutter Diameter: 0.0050 0.005"

Diameter Tolerance: +.000" -.002"

OD Grind: Standard

Shank Information

Shank Diameter: 20.0mm

Shank Tolerance: +.0000" -.0005"

Weldon Flats: None

Length Information

Flute Length: 38mm

Neck Length: N/A

Over All Length: 100mm

Length Category: Standard

Fluting Information

Number of Flutes: 4

Helix Angle: 30°

Flute Index: Constant

Cut: Center Cutting Right Hand

Spiral: Right Hand

Coating and End Configuration

Coating: Uncoated

End Type: Single End Ball

Corner Radius: Ball

Corner Chamfer or Taper per Side: N/A

Materials Families: All (P, K, M, S, H, N)

LEADWELL MODEL MV-610 VERTICAL MACHINING CENTER WITH FANUC O-M CONTROL

Condition: **Used**

Price: **US \$21,500.00**
Approximately IDR307,142,857.14

[Buy It Now](#)

[Add to cart](#)

[Add to watch list](#)

Longtime Member

Seller information
brewstermachinery (316 ★)
100% Positive feedback

Save this Seller
Contact seller
Visit store

Shipping: May not ship to Indonesia - Read item description or contact seller for shipping options. | See details
Item location: Bethel, Connecticut, United States
Ship to: United States

Delivery: Varies

Payments: **PayPal** | **VISA** | **MasterCard** | **Discover**
Processed by PayPal

Returns: Seller does not accept returns | See details

Guarantee: **ebay** MONEY BACK GUARANTEE | See details
Get the item you ordered or get your money back.
Covers your purchase price and original shipping



Plat Aluminium seri 70, lebih dikenal dengan nama dural, cocok untuk matrass/ moulding mesin blowing plastik gelas dan botol AMDK transparan, Jig, Matras sepatu

Spesifikasi :

- lebih kuat dan liat dibanding seri 60,
- pada aplikasi moulding blowing plastik/ botol, dapat menghasilkan lebih banyak produk dari pada seri 60
- proses machining (CNC / bubut) lebih mudah, karena tidak lengket

Ukuran bebas dan sesuai dengan permintaan pemakai, sehingga tidak banyak waste/ sampah produksi
tersedia mulai tebal 40 ~ 120 mm, panjang x lebar sesuai permintaan
Harga bersahabat mulai 90.000/kg (< tebal 100 mm) ~ 100.000/kg (> 100 mm)

3D Back Offsets

r/R	Back	LE	2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	TE	MT
0,2000	X	-0,03534	-0,03497	-0,03399	-0,03182	-0,02692	-0,02137	-0,01532	-0,00891	-0,00222	0,00464	0,01160	0,01872	0,02237	0,02605	-0,01872
	Y	0,02505	0,02647	0,02727	0,02847	0,02973	0,02999	0,02968	0,02903	0,02820	0,02724	0,02617	0,02507	0,02455	0,02405	0,02990
	Z	-0,01851	-0,01413	-0,01251	-0,00947	-0,00399	0,00081	0,00440	0,00757	0,01025	0,01257	0,01468	0,01648	0,01724	0,01794	0,00241
0,3000	X	-0,03281	-0,03271	-0,03191	-0,03004	-0,02560	-0,02047	-0,01478	-0,00863	-0,00207	0,00473	0,01183	0,01932	0,02318	0,02707	-0,01502
	Y	0,03665	0,03824	0,03932	0,04109	0,04348	0,04489	0,04500	0,04461	0,04369	0,04234	0,04066	0,03882	0,03785	0,03684	0,04500
	Z	-0,02611	-0,02372	-0,02189	-0,01835	-0,01158	-0,00526	0,00058	0,00593	0,01078	0,01525	0,01927	0,02275	0,02433	0,02584	0,00035
0,4000	X	-0,02993	-0,02976	-0,02896	-0,02721	-0,02317	-0,01850	-0,01334	-0,00774	-0,00170	0,00477	0,01168	0,01899	0,02288	0,02686	-0,01014
	Y	0,04971	0,05120	0,05235	0,05436	0,05736	0,05917	0,05995	0,05982	0,05891	0,05735	0,05527	0,05277	0,05143	0,05003	0,05998
	Z	-0,03360	-0,03127	-0,02932	-0,02540	-0,01758	-0,00992	-0,00249	0,00464	0,01137	0,01762	0,02334	0,02855	0,03089	0,03312	0,00171
0,5000	X	-0,02737	-0,02703	-0,02620	-0,02450	-0,02069	-0,01638	-0,01183	-0,00648	-0,00093	0,00504	0,01146	0,01839	0,02210	0,02590	-0,00695
	Y	0,06359	0,06499	0,06616	0,06828	0,07160	0,07375	0,07484	0,07492	0,07409	0,07244	0,07008	0,06715	0,06551	0,06376	0,07495
	Z	-0,03977	-0,03743	-0,03533	-0,03104	-0,02234	-0,01361	-0,00496	0,00350	0,01166	0,01942	0,02670	0,03341	0,03652	0,03949	0,00277
0,6000	X	-0,02501	-0,02474	-0,02396	-0,02222	-0,01847	-0,01437	-0,00991	-0,00510	0,00007	0,00560	0,01147	0,01771	0,02121	0,02489	-0,00514
	Y	0,07793	0,07932	0,08052	0,08267	0,08612	0,08947	0,08973	0,08996	0,08922	0,08756	0,08507	0,08182	0,07999	0,07804	0,08997
	Z	-0,04502	-0,04252	-0,04021	-0,03558	-0,02613	-0,01654	-0,00694	0,00256	0,01183	0,02080	0,02938	0,03750	0,04125	0,04482	0,00248
0,7000	X	-0,02333	-0,02295	-0,02216	-0,02037	-0,01661	-0,01259	-0,00831	-0,00377	0,00103	0,00608	0,01139	0,01696	0,01984	0,02333	-0,00377
	Y	0,09271	0,09405	0,09523	0,09737	0,10086	0,10328	0,10465	0,10499	0,10432	0,10270	0,10017	0,09678	0,09478	0,09271	0,10499
	Z	-0,04929	-0,04689	-0,04423	-0,03929	-0,02921	-0,01894	-0,00860	0,00171	0,01189	0,02184	0,03148	0,04073	0,04518	0,04929	0,00171
0,8000	X	-0,02187	-0,02138	-0,02056	-0,01873	-0,01494	-0,01098	-0,00685	-0,00256	0,00189	0,00651	0,01130	0,01626	0,01880	0,02187	-0,00256
	Y	0,10763	0,10892	0,11009	0,11221	0,11569	0,11815	0,11958	0,12000	0,11940	0,11783	0,11530	0,11186	0,10981	0,10763	0,12000
	Z	-0,05305	-0,05036	-0,04775	-0,04253	-0,03186	-0,02099	-0,00999	0,00102	0,01196	0,02273	0,03325	0,04345	0,04839	0,05305	0,00102
0,9000	X	-0,02000	-0,01947	-0,01867	-0,01689	-0,01326	-0,00952	-0,00568	-0,00173	0,00232	0,00648	0,01074	0,01511	0,01733	0,02000	-0,00173
	Y	0,12333	0,12451	0,12561	0,12759	0,13087	0,13320	0,13457	0,13500	0,13448	0,13302	0,13065	0,12739	0,12543	0,12333	0,13500
	Z	-0,05491	-0,05217	-0,04948	-0,04410	-0,03314	-0,02199	-0,01071	0,00061	0,01189	0,02304	0,03401	0,04470	0,04992	0,05491	0,00061
1,0000	X	-0,01823	-0,01771	-0,01697	-0,01533	-0,01198	-0,00855	-0,00503	-0,00143	0,00228	0,00603	0,00990	0,01384	0,01585	0,01823	-0,00143
	Y	0,13920	0,14028	0,14129	0,14313	0,14616	0,14831	0,14960	0,15000	0,14953	0,14819	0,14601	0,14299	0,14117	0,13920	0,15000
	Z	-0,05589	-0,05311	-0,05037	-0,04488	-0,03374	-0,02242	-0,01100	0,00045	0,01188	0,02322	0,03439	0,04534	0,05071	0,05589	0,00045

3D Face Offsets

r/R	Face	LE	2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	TE	MT
0,2000	X	-0,03534	-0,03286	-0,03104	-0,02763	-0,02121	-0,01505	-0,00899	-0,00294	0,00311	0,00911	0,01500	0,02066	0,02337	0,02605	-0,01233
	Y	0,02505	0,02472	0,02498	0,02567	0,02719	0,02852	0,02947	0,02994	0,02994	0,02943	0,02837	0,02663	0,02544	0,02405	0,02900
	Z	-0,01651	-0,01699	-0,01661	-0,01553	-0,01267	-0,00929	-0,00562	-0,00185	0,00196	0,00583	0,00974	0,01382	0,01591	0,01794	-0,00786
0,3000	X	-0,03281	-0,03047	-0,02888	-0,02571	-0,01952	-0,01349	-0,00754	-0,00160	0,00433	0,01025	0,01607	0,02172	0,02442	0,02707	-0,00778
	Y	0,03665	0,03693	0,03765	0,03901	0,04138	0,04323	0,04444	0,04497	0,04481	0,04398	0,04239	0,04005	0,03855	0,03684	0,04440
	Z	-0,02611	-0,02571	-0,02464	-0,02244	-0,01768	-0,01251	-0,00707	-0,00151	0,00408	0,00963	0,01511	0,02053	0,02322	0,02584	-0,00730
0,4000	X	-0,02993	-0,02786	-0,02643	-0,02352	-0,01777	-0,01205	-0,00638	-0,00073	0,00491	0,01056	0,01617	0,02167	0,02429	0,02686	-0,00310
	Y	0,04971	0,05040	0,05134	0,05305	0,05596	0,05811	0,05946	0,05999	0,05968	0,05854	0,05666	0,05375	0,05200	0,05003	0,05987
	Z	-0,03360	-0,03255	-0,03106	-0,02803	-0,02165	-0,01495	-0,00800	-0,00092	0,00616	0,01317	0,02002	0,02666	0,02993	0,03312	-0,00389
0,5000	X	-0,02737	-0,02565	-0,02431	-0,02162	-0,01627	-0,01093	-0,00560	-0,00028	0,00503	0,01035	0,01566	0,02095	0,02346	0,02590	-0,00075
	Y	0,06359	0,06455	0,06558	0,06750	0,07071	0,07305	0,07448	0,07500	0,07458	0,07324	0,07099	0,06785	0,06593	0,06376	0,07499
	Z	-0,03977	-0,03820	-0,03639	-0,03269	-0,02501	-0,01700	-0,00878	-0,00045	0,00789	0,01614	0,02419	0,03195	0,03576	0,03949	-0,00117
0,6000	X	-0,02501	-0,02377	-0,02252	-0,02002	-0,01503	-0,01004	-0,00505	-0,00006	0,00493	0,00992	0,01491	0,01990	0,02240	0,02489	-0,00010
	Y	0,07793	0,07908	0,08017	0,08220	0,08558	0,08802	0,08950	0,09000	0,08952	0,08806	0,08565	0,08229	0,08028	0,07804	0,09000
	Z	-0,04502	-0,04297	-0,04089	-0,03665	-0,02787	-0,01879	-0,00950	-0,00011	0,00928	0,01857	0,02765	0,03644	0,04069	0,04482	-0,00019
0,7000	X	-0,02333	-0,02217	-0,02100	-0,01867	-0,01400	-0,00933	-0,00467	0,00000	0,00467	0,00933	0,01400	0,01867	0,02100	0,02333	0,00000
	Y	0,09271	0,09389	0,09501	0,09708	0,10052	0,10300	0,10450	0,10500	0,10450	0,10300	0,10052	0,09708	0,09501	0,09271	0,10500
	Z	-0,04929	-0,04701	-0,04470	-0,04001	-0,03035	-0,02039	-0,01025	0,00000	0,01025	0,02039	0,03035	0,04001	0,04470	0,04929	0,00000
0,8000	X	-0,02187	-0,02077	-0,01968	-0,01749	-0,01312	-0,00875	-0,00437	0,00000	0,00437	0,00875	0,01312	0,01749	0,01968	0,02187	0,00000
	Y	0,10763	0,10882	0,10995	0,11204	0,11550	0,11799	0,11950	0,12000	0,11950	0,11799	0,11550	0,11204	0,10995	0,10763	0,12000
	Z	-0,05305	-0,05058	-0,04807	-0,04299	-0,03256	-0,02186	-0,01098	0,00000	0,01098	0,02186	0,03256	0,04299	0,04807	0,05305	0,00000
0,9000	X	-0,02000	-0,01900	-0,01800	-0,01600	-0,01200	-0,00800	-0,00400	0,00000	0,00400	0,00800	0,01200	0,01600	0,01800	0,02000	0,00000
	Y	0,12333	0,12445	0,12552	0,12749	0,13076	0,13311	0,13453	0,13500	0,13453	0,13311	0,13076	0,12749	0,12552	0,12333	0,13500
	Z	-0,05491	-0,05232	-0,04970	-0,04440	-0,03358	-0,02252	-0,01130	0,00000	0,01130	0,02252	0,03358	0,04440	0,04970	0,05491	0,00000
1,0000	X	-0,01823	-0,01732	-0,01641	-0,01458	-0,01094	-0,00729	-0,00365	0,00000	0,00365	0,00729	0,01094	0,01458	0,01641	0,01823	0,00000
	Y	0,13920	0,14024	0,14123	0,14306	0,14608	0,14825	0,14956	0,15000	0,14956	0,14825	0,14608	0,14306	0,14123	0,13920	0,15000
	Z	-0,05589	-0,05322	-0,05054	-0,04511	-0,03406	-0,02282	-0,01144	0,00000	0,01144	0,02282	0,03406	0,04511	0,05054	0,05589	0,00000

Radial Back Offsets

r/R	Back	LE	2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	TE	MT
0,2000	X	-0,03534	-0,03497	-0,03399	-0,03182	-0,02882	-0,02137	-0,01532	-0,00891	-0,00222	0,00464	0,01180	0,01872	0,02237	0,02805	-0,01872
	r	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000
	theta	-33,38863	-28,08478	-24,64770	-18,40425	-7,84996	1,16833	8,43300	14,61489	19,97147	24,77239	29,28626	33,31672	35,06542	36,72552	4,60392
0,3000	X	-0,03281	-0,03271	-0,03191	-0,03004	-0,02580	-0,02047	-0,01478	-0,00863	-0,00207	0,00473	0,01183	0,01932	0,02318	0,02707	-0,01502
	r	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500
	theta	-35,46091	-31,81127	-29,10282	-24,07009	-14,91550	-6,71235	0,74040	7,57091	13,85805	19,80753	25,35777	30,37230	32,73172	35,04801	0,44812
0,4000	X	-0,02993	-0,02976	-0,02896	-0,02721	-0,02317	-0,01850	-0,01334	-0,00774	-0,00170	0,00477	0,01168	0,01899	0,02288	0,02688	-0,01014
	r	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000
	theta	-34,05443	-31,41608	-29,25065	-25,04540	-17,04354	-8,52089	-2,37372	4,43912	10,92148	17,07833	22,89743	28,41185	30,99171	33,50257	1,63476
0,5000	X	-0,02737	-0,02703	-0,02620	-0,02450	-0,02069	-0,01638	-0,01163	-0,00648	-0,00093	0,00504	0,01146	0,01839	0,02210	0,02590	-0,00695
	r	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500
	theta	-32,02170	-29,93980	-28,10541	-24,44583	-17,32975	-10,45807	-3,79356	2,67310	8,94010	15,00898	20,85880	26,45460	29,13639	31,77372	2,11798
0,6000	X	-0,02501	-0,02474	-0,02396	-0,02222	-0,01847	-0,01437	-0,00991	-0,00510	0,00007	0,00560	0,01147	0,01771	0,02121	0,02489	-0,00514
	r	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000
	theta	-30,01702	-28,19245	-26,53631	-23,28693	-16,87833	-10,58974	-4,42113	1,62749	7,55605	13,36481	19,05380	24,62291	27,27710	29,87080	1,57734
0,7000	X	-0,02333	-0,02295	-0,02216	-0,02037	-0,01661	-0,01259	-0,00831	-0,00377	0,00103	0,00608	0,01139	0,01696	0,01984	0,02333	-0,00377
	r	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500
	theta	-27,99814	-26,40275	-24,91040	-21,97480	-16,15140	-10,39196	-4,69648	0,93513	6,50278	12,00655	17,44637	22,82222	25,48625	27,99814	0,93513
0,8000	X	-0,02187	-0,02138	-0,02056	-0,01873	-0,01494	-0,01098	-0,00685	-0,00258	0,00189	0,00651	0,01130	0,01626	0,01880	0,02187	-0,00258
	r	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000
	theta	-26,23894	-24,81197	-23,44750	-20,75652	-15,39824	-10,07152	-4,77638	0,48719	5,71919	10,91962	16,08849	21,22578	23,78259	26,23894	0,48719
0,9000	X	-0,02000	-0,01947	-0,01867	-0,01689	-0,01326	-0,00952	-0,00568	-0,00173	0,00232	0,00648	0,01074	0,01511	0,01733	0,02000	-0,00173
	r	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500
	theta	-24,00150	-22,73158	-21,50068	-19,06718	-14,21200	-9,37247	-4,54866	0,25897	5,06194	9,82873	14,58979	19,33521	21,70201	24,00150	0,25897
1,0000	X	-0,01823	-0,01771	-0,01697	-0,01533	-0,01198	-0,00855	-0,00503	-0,00143	0,00226	0,00603	0,00990	0,01384	0,01585	0,01823	-0,00143
	r	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000
	theta	-21,87686	-20,73565	-19,62096	-17,41112	-12,99925	-8,59781	-4,20680	0,17379	4,54394	8,90368	13,25298	17,59186	19,75738	21,87686	0,17379

Radial Face Offsets

r/R	Face	LE	2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	TE	MT
0,2000	X	-0,03534	-0,03286	-0,03104	-0,02763	-0,02121	-0,01505	-0,00899	-0,00294	0,00311	0,00911	0,01500	0,02066	0,02337	0,02605	-0,01233
	r	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000
	theta	-33,38863	-34,50334	-33,62422	-31,16728	-24,98480	-18,04275	-10,78985	-3,52885	3,75129	11,20214	18,95533	27,42504	32,01698	36,72552	-14,80177
0,3000	X	-0,03261	-0,03047	-0,02888	-0,02571	-0,01952	-0,01349	-0,00754	-0,00160	0,00433	0,01025	0,01607	0,02172	0,02442	0,02707	-0,00778
	r	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500	0,04500
	theta	-35,46091	-34,84305	-33,20595	-29,91297	-23,13409	-16,14574	-9,04361	-1,92120	5,20121	12,35445	19,62248	27,13906	31,06343	35,04601	-9,33647
0,4000	X	-0,02993	-0,02786	-0,02643	-0,02352	-0,01777	-0,01205	-0,00638	-0,00073	0,00491	0,01056	0,01617	0,02187	0,02429	0,02686	-0,00310
	r	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000
	theta	-34,05443	-32,85765	-31,17475	-27,85237	-21,15271	-14,42649	-7,86042	-0,88171	5,89700	12,67802	19,48989	26,37731	29,91956	33,50257	-3,71675
0,5000	X	-0,02737	-0,02565	-0,02431	-0,02162	-0,01627	-0,01093	-0,00560	-0,00028	0,00503	0,01035	0,01586	0,02095	0,02348	0,02590	-0,00075
	r	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500	0,07500
	theta	-32,02170	-30,61537	-29,02481	-25,84367	-19,47598	-13,10313	-6,72468	-0,34155	6,04158	12,42477	18,81267	25,21309	28,47790	31,77372	-0,89744
0,6000	X	-0,02501	-0,02377	-0,02252	-0,02002	-0,01503	-0,01004	-0,00505	-0,00006	0,00493	0,00992	0,01491	0,01990	0,02240	0,02489	-0,00010
	r	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000	0,09000
	theta	-30,01702	-28,51982	-27,02263	-24,02824	-18,03946	-12,05067	-6,06189	-0,07311	5,91567	11,90445	17,89324	23,88202	26,87641	29,87080	-0,12326
0,7000	X	-0,02333	-0,02217	-0,02100	-0,01867	-0,01400	-0,00933	-0,00467	0,00000	0,00467	0,00933	0,01400	0,01867	0,02100	0,02333	0,00000
	r	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500	0,10500
	theta	-27,99814	-26,59823	-25,19833	-22,39851	-16,79888	-11,19926	-5,59963	0,00000	5,59963	11,19926	16,79888	22,39851	25,19833	27,99814	0,00000

Radial Face Offsets

r/R	Face	LE	2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	TE	MT
0,8000	X	-0,02187	-0,02077	-0,01968	-0,01749	-0,01312	-0,00875	-0,00437	0,00000	0,00437	0,00875	0,01312	0,01749	0,01968	0,02187	0,00000
	r	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000	0,12000
	theta	-26,23894	-24,92699	-23,61504	-20,99115	-15,74336	-10,49557	-5,24779	0,00000	5,24779	10,49557	15,74336	20,99115	23,61504	26,23894	0,00000
0,9000	X	-0,02000	-0,01900	-0,01800	-0,01600	-0,01200	-0,00800	-0,00400	0,00000	0,00400	0,00800	0,01200	0,01600	0,01800	0,02000	0,00000
	r	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500	0,13500
	theta	-24,00150	-22,80142	-21,60135	-19,20120	-14,40090	-8,80060	-4,80030	0,00000	4,80030	8,80060	14,40090	19,20120	21,60135	24,00150	0,00000
1,0000	X	-0,01823	-0,01732	-0,01641	-0,01458	-0,01094	-0,00729	-0,00365	0,00000	0,00365	0,00729	0,01094	0,01458	0,01641	0,01823	0,00000
	r	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000	0,15000
	theta	-21,87696	-20,78302	-19,68917	-17,50149	-13,12612	-8,75074	-4,37537	0,00000	4,37537	8,75074	13,12612	17,50149	19,68917	21,87696	0,00000

BIODATA PENULIS



Mohammad Ibnu Sabilillah merupakan nama yang diberikan Bapak Jazuli dan Ibu Ismiatin kepada penulis. Dilahirkan di Blitar pada 09 Januari 1996 sebagai anak bungsu dari tiga bersaudara. Penulis dibesarkan di lingkungan Badut, Kelurahan Tanggung, Kota Blitar, Jawa Timur, sebuah desa bagian utara Kota Patria yang erat akan persaudaraannya. Penulis memulai studi di Madrasah Ibtidaiyah(MI) NURUL HUDA NGADIREDDJO selama enam tahun dan lulus pada tahun 2008. Melanjutkan jenjang berikutnya di SMP Negeri 3 Kota Blitar(2009-2011) dan SMK Negeri 1 Kota Blitar mengambil jurusan Teknik Permesinan. Lulus SMK pada 2014 dan melanjutkan kembali jenjang perguruan tinggi Strata 1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember

mengambil jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan. Dalam perkuliahan penulis mengambil penelitian untuk Tugas Akhir pada bidang studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD). Selama masa perkuliahan penulis aktif dalam kegiatan akademis maupun non-akademis. Untuk kegiatan non-akademis penulis aktif diluar kampus sebagai peserta maupun penitia dalam beberapa kompetisi Rubik's Cube tingkat Regional sampai tingkat Nasional, dan berhasil memenangkan 9 medali emas 21 medali perak dan 13 medali perunggu dalam 14 kompetisi selama kurun waktu 4 tahun(2015-2018). Selain itu penulis juga aktif di kegiatan akademis dengan menjadi Grader atau Asisten Dosen untuk membimbing Praktikum mahasiswa Sistem Perkapalan. Penulis menjadi Grader untuk mata kuliah Mesin Fluida bidang studi *Marine Fluid and Machinery Sytem* (MMS) dalam praktikum Turbin Pelton periode Gasal 2017/2018, selain itu penulis juga menjadi Grader untuk Mata Kuliah Ilmu Bahan dan Perlakuan Logam bidang studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD) dalam praktikum Mesin Bubut dan Sekrap Periode Gasal dan Genap 2017/2018.